Nachbearbeitung von teilgetrennten Bauelementen

07.07.2015 - Dirk Lewke, Martin Schellenberger; Fraunhofer IISB

Einleitung

Mikroelektronische, mikromechanische oder mikrooptische Bauelemente (z.B. ICs oder MEMS) werden in großer Stückzahl auf Halbleitersubstraten produziert. Die Bauelemente werden durch geeignete Trennverfahren vereinzelt und danach weiter verarbeitet oder direkt verpackt. Die Vereinzelung erfolgt durch „Trennschnitte" entlang vorgegebener Sägestraßen, durch die die Bauelementflächen definiert sind. Bei der Vereinzelung kann es vorkommen, dass einzelne Bauelemente nicht vollständig getrennt werden. Je nach Fertigungsstrategie ist z.B. eine wiederholte Bearbeitung in der Vereinzelungsmaschine möglich; die Nachbearbeitung kann aber auch durch mechanische Belastung der Sägestraßen erfolgen. Dieses Vorgehen wir im Folgenden auf Basis der Halbleiterindustrie beschrieben, kann aber auch auf andere Industriebereiche (z.B. Glasindustrie) übertragen werden.

Stand der Technik

Bekannte Trennverfahren der Halbleiterindustrie sind das mechanische Trennschleifverfahren, das Anritzen mittels Diamantspitze oder Schneidrädchen mit nachfolgendem Brechen, verschiedene abtragende laserbasierte Verfahren (z.B. trockene Ablation oder wasserstrahlgeführte Ablation), verschiedene trennfugenfreie laserbasierte Trennverfahren (z.B. Materialmodifikation im Inneren des Werkstücks oder Führen eines Risses durch thermisch induzierte mechanische Spannungen, z.B. durch laserbasiertes Aufheizen und anschließendes Abkühlen mittels Wasseraerosol) oder chemisches Abtragen von Material entlang der Sägestraße (z.B. Plasmaätzen).

Beispiel eines Trennverfahrens – TLS

<u>Verfahren und Vorrichtung zur Trennung eines flachen Werkstücks in mehrere Teilstücke</u>

TECHNISCHES ANWENDUNGSGEBIET

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Trennung eines flachen Werkstücks in mehrere Teilstücke, bei dem in einem ersten Schritt durch lokale Materialbearbeitung mit einem Laserstrahl durch eine Oberfläche des Werkstücks eine oder mehrere Linien modifizierten Materials entlang einer oder mehrerer vorgegebenen Trennlinien im Werkstück erzeugt werden, die zu einer Reduzierung der Bruchspannung des Werkstücks entlang der Trennlinien führen, und in einem zweiten Schritt das Werkstück entlang der Trennlinien durch thermisches Laserstrahl-Separieren in die Teilstücke aufgetrennt wird. Die Erfindung betrifft auch eine Vorrichtung, die zur Durchführung des Verfahrens ausgebildet ist.

In vielen technischen Bereichen ist es erforderlich, ein größeres Werkstück in mehrere in der Regel formgleiche Teilstücke aufzutrennen oder aus einem Werkstück mehrere gleichförmige Strukturen herauszutrennen. Ein Beispiel ist die Vereinzelung von Bauelementen oder Chips in der Halbleiterindustrie oder verwandten Industrien, wie bspw. MEMS, Solar oder Optik. Dort wird eine Vielzahl von Bauelementen auf einem gemeinsamen Substrat gefertigt. Sind die Bauelemente vollständig prozessiert, müssen sie voneinander getrennt werden, damit sie einzeln weiter verarbeitet werden können. Dieser Trennprozess, die Vereinzelung der Bauelemente, lässt sich mit dem vorgeschlagenen Verfahren sowie der vorgeschlagenen Vorrichtung durchführen.

An den Vereinzelungsprozess werden unterschiedliche Anforderungen gestellt, bspw. hoher Durchsatz, hohe Qualität und hinreichend genauer geometrischer Verlauf der resultierenden Bauelementkanten, saubere Trennung von Schichtstapeln unterschiedlicher Materialien, keine Qualitätseinbuße der Bauelemente und geringe Kosten pro Vereinzelungsschritt. Das Verfahren und die Vorrichtung lassen sich in gleicher Weise auch auf anderen technischen Gebieten einsetzen, bspw. in der Glas- und Keramik-Industrie.

STAND DER TECHNIK

Im Folgenden wird die Problematik bei der Trennung eines flachen Werkstücks in mehrere Teilstücke anhand der Anwendung in der Halbleiterindustrie erläutert. Für den Vereinzelungsprozess existieren dort verschiedene Verfahren und Vorrichtungen. Derzeit werden die auf Sub-straten gefertigten Bauelemente meist mit Hilfe von mechanischen oder laserbasierten Technologien getrennt.

Daneben gibt es aus mechanischen und laserbasierten Verfahren kombinierte Technologien sowie Plasmaätzverfahren und Trennverfahren mittels Dünnschleifen.

Die beiden letztgenannten Verfahren sowie die kombinierten Verfahren spielen derzeit nur eine untergeordnete Rolle.

Unabhängig von der gewählten Trenntechnologie wird in der Regel vor dem Trennprozess das zu trennende Substrat auf einem Träger fixiert, damit das Substrat während der Bearbeitung nicht verrutscht, die Bauelemente kontrolliert getrennt werden können und bereits getrennte Bauelemente nicht abhanden kommen. Die Art der Fixierung wird abhängig von dem zu bearbeitenden Substrat gewählt. In der Mikroelektronik wird z.B. häufig eine Fixierung des Substrats mit Hilfe einer einseitig klebenden Folie und einem Trägerrahmen gewählt.

Bei den Material abtragenden Laserverfahren wird mit Hilfe eines oder mehrerer gepulster Laserstrahlen so lange Substratmaterial entlang des Ritzrahmens abgetragen, bis alle Bauelemente getrennt sind.

Abtragsfreie oder trennfugenfreie Laserverfahren basieren auf der Initialisierung und Führung eines Risses durch das Substrat. Beispiele für derartige abtragsfreie Trennungsverfahren sind das sog. Stealth Dicing (SD) und das thermische Laserstrahl-Separieren (TLS).

Beim Stealth Dicing, wie es bspw. in der EP 1 716 960 B1 zum Trennen von Werkstücken verwendet wird, erzeugt ein gepulster Laserstrahl mit hoher Pulsintensität durch nichtlineare Absorption im Werkstück eine Materialschwächung, an der das Werkstück anschließend durch mechanische Einwirkung gebrochen wird. Zur Trennung von Substraten mit einer Dicke von 200 µm oder dicker, sind jedoch entlang der Trennlinie mehrere Überfahrten mit dem Laserstrahl erforderlich. Dies erhöht die Prozesszeit und verringert damit den Durchsatz.

Weiterhin darf das Werkstück die Laserstrahlung bei dieser Technik nicht zu stark absorbieren, um die nichtlinearen Effekte in einer ausreichenden Tiefe im Werkstück erzeugen zu können. Die Trennung von hochdotierten Substraten ist daher nicht möglich, weil die Absorption der Laserstrahlung zu nahe an der Oberfläche stattfindet.

Beim thermischen Laserstrahl-Separieren erfolgt die Trennung des Werkstücks durch Erzeugen einer hohen thermischen Spannung mit einem Laserstrahl, der vom Werkstück ausreichend absorbiert wird. Die Trennung durch diese thermische Spannung erfordert die Initiierung des Bruches durch eine geeignete Materialschwächung am oder im Werkstück. Hierzu ist es bekannt, am Rand des zu trennenden Werkstücks oder entlang einer Trennlinie eine Kerbe in die Oberfläche des Werkstücks einzubringen, durch die der Riss bei der anschließenden starken lokalen Erwärmung mit dem Laserstrahl dann initiiert wird.

Die EP 1 924 392 B1 zeigt hierbei ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1 . Bei diesem Verfahren wird vor dem TLS-Schritt durch lokale Materialmodifikation mit einem gepulsten Laser an der Oberfläche des Werkstücks eine Spur modifizierten Materials entlang der Trennlinie erzeugt, die zu einer Reduzierung der Bruchspannung des Werkstücks entlang der Trennlinie führt. Diese Spur ersetzt die bisher eingebrachte Kerbe und kann entlang der Trennlinie auch unterschiedlich tief ausgebildet sein, um eine ggf. variierende Dicke des Werkstücks auszugleichen. Allerdings kann eine

Kerbe oder eine anstelle der Kerbe eingebrachte Materialmodifikation an der Oberfläche die Qualität der Kante des abgetrennten Teilstücks bzw. Bauelements verringern.

AUFGABE UND LÖSUNG

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Trennung eines flachen Werkstücks in mehrere Teilstücke anzugeben, die eine Trennung mit hoher Geschwindigkeit sowie eine gegenüber dem bisherigen thermischen Laserstrahlseparieren höhere Qualität der resultierenden Kanten der Teilstücke ermöglichen.

Die Aufgabe wird mit dem Verfahren und der Vorrichtung gemäß den Patentansprüchen 1 und 19 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sowie der Vorrichtung sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche oder lassen sich der nachfolgenden Beschreibung sowie den Ausführungsbeispielen entnehmen.

Bei dem vorgeschlagenen Verfahren handelt es sich um ein laserbasiertes Trennverfahren, das trennfugenfrei arbeitet. Das Verfahren nutzt die Technik des Thermischen Laserstrahl-Separierens (TLS), bei der durch die Kombination von Laserstrahl und Kühlung entlang der Trennlinie starke thermische Spannungen in das Werkstück eingebracht werden, die zu einem Bruch des Werkstücks entlang der Trennlinie führen. Energie und Intensität der Laserstrahlung werden dabei so gewählt, dass das Werkstückmaterial durch den Laserstrahl nicht modifiziert, insbesondere nicht aufgeschmolzen wird. Vorzugsweise wird hierzu ein CW-Laser (CW: continuous wave) eingesetzt. Die für die Initiierung des Bruches bei TLS erforderliche Materialschwächung wird bei dem vorgeschlagenen Verfahren durch lokale Materialbearbeitung mit einem weiteren Laserstrahl, insbesondere einem gepulsten Laserstrahl, durch die Oberfläche des Werkstücks erreicht. Hierbei werden eine oder mehrere Linien modifizierten Materials entlang der Trennlinien erzeugt. Das vorgeschlagene Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass diese eine oder mehrere Linien nicht ausschließlich entlang der Oberfläche erzeugt werden, sondern sich vollständig oder zumindest abschnittsweise mit einem Abstand von der Oberfläche im Werkstück erstrecken. Es kann sich dabei um eine durchgehende Linie oder auch um mehrere getrennte Linien handeln, die entlang der Trennlinie auch einen Abstand zueinander aufweisen können. Die Dicke bzw. der Durchmesser der Linien kann über deren Länge auch variieren.

Besonders vorteilhaft wird die jeweilige Linie mit einem Verlauf erzeugt, bei dem die Linie an der Oberfläche des Werkstücks startet und sich anschließend von der Oberfläche entfernt und in einem Abstand von der Oberfläche im Werkstück erstreckt, der über die Länge der Linie auch variieren kann. Damit wird die Qualität der Kante des jeweils abzutrennenden

Teilstücks bzw. Bauelementes lediglich an der Startposition des Bruches durch die Materialmodifikation an der Oberfläche beeinflusst, so dass der restliche Verlauf der Bauelement bzw. Teilstückkanten mit hoher Qualität erzeugt werden kann. Unter einer „hohen Qualität" ist dabei vor allem ein möglichst genauer geometrischer Verlauf der Kante entlang der gewünschten Trennlinie ohne Welligkeiten oder Ausbrüche zu verstehen.

Mit dem vorgeschlagenen Verfahren kann durch Nutzung der Technik des TLS ein hoher Durchsatz bei der Trennung der Teilstücke erreicht werden. Durch die Erzeugung der für die Initiierung und Führung des Bruches verantwortlichen Linien modifizierten Materials zumindest abschnittsweise in einem Abstand zur Oberfläche des Werkstücks wird gleichzeitig eine höhere Qualität der Kante der abgetrennten Teilstücke bzw. Bauelemente erreicht, da die im Abstand zur Oberfläche verlaufenden Linienabschnitte die Teilstück- bzw. Bauelementkante nicht negativ beeinflussen. Die Länge des oder der Linienabschnitte in einem Abstand zur Oberfläche sollte dabei möglichst groß sein, vorzugsweise jedoch größer als die Länge des oder der Linienabschnitte, die an der Oberfläche verlaufen.

Ein weiterer Vorteil des vorgeschlagenen Verfahrens besteht darin, dass der erste Schritt der Erzeugung der Linie(n) auch dazu genutzt werden kann, vorab zunächst eine ggf. auf der Oberfläche des Werkstücks befindliche Metallisierung und/oder ausgedehnte PCM-Strukturen (PCM: process control monitoring) im Bereich des Ritzrahmens lokal abzutragen, um eine ausreichende Absorption der Laserstrahlung im Werkstück für das spätere TLS zu ermöglichen oder, um sicherheitsrelevante Strukturen wie z.B. in Security-RFIDs zu entfernen. Das Verfahren erlaubt somit sowohl die Trennung von Werkstücken mit ausgedehnten PCM-Strukturen im Ritzrahmen als auch die Trennung bei Vorhandensein von dünnem Vorderseitenmetall.

Weiterhin können mit dem Verfahren beispielsweise auch Substrate mit größeren Substratdicken, beispielsweise mit mindestens 925 µm Dicke bei Siliziumsubstraten oder mit 450 µm Dicke bei SiC-Substraten, in nur einem Durchgang, d.h. bei nur einer Überfahrt, bei der Laser über die jeweilige Trennlinie, bei gleichzeitig guter Geradlinigkeit der Trennkante getrennt werden. Das Verfahren ermöglicht auch die Trennung von hochdotierten Halbleiterscheiben bei gleichzeitiger Geradlinigkeit der Trennkante. Auch gestapelte Schichten unterschiedlicher Materialien können mit dem vorgeschlagenen Verfahren getrennt werden. Insbesondere können mit dem Verfahren gestapelte Substrate, z.B. Silizium auf Glas, vollständig bei gleichzeitig guter Geradlinigkeit der Trennkante getrennt werden.

Die bei dem Verfahren im ersten Verfahrensschritt erzeugten Linien modifizierten Materials entlang der Trennlinie können bezüglich des Abstandes von der Oberfläche einer geometrischen Funktion oder auch einem beliebigen Verlauf folgen. Beispielhafte geometrische Funktionen sind z.B. Sinusfunktion, Parabel, eine lineare Funktion, eine Sägezahn- oder eine Dreiecksfunktion. Die jeweilige Abstandsfunktion kann dabei auch in fester Relation zu den Strukturen bzw. Abmessungen der zu trennenden Teilstücke sein, insbesondere abhängig von der Länge des jeweils zu trennenden Teilstücks.

Besonders vorteilhaft ist ein Abstandsverlauf, bei dem die jeweilige Linie an Start- und Kreuzungspunkten der Trennlinien an der Oberfläche liegt und sich zwischen diesen Punkten in einem ggf. variierenden Abstand zur Oberfläche im Werkstück erstreckt. In gleicher Weise kann die Linie auch entlang Bereichen mit einer Oberflächenmetallisierung und/oder PCM-Strukturen im Ritzrahmen an der Oberfläche verlaufen.

Bei dem vorgeschlagenen Verfahren können auch zwei oder mehr Linien entlang der definierten Trennlinie in unterschiedlichem Abstand von der Oberfläche übereinander liegen, d. h. sich von der Oberfläche her gesehen bzw. in senkrechter Projektion auf die Oberfläche vollständig oder teilweise entlang der Trennlinie überlappen.

Eine Variation des Abstandes der Linien von der Oberfläche wird vorzugsweise durch Anpassung der Fokuslage des für die Erzeugung der Linien eingesetzten Laserstrahls in Tiefenrichtung des Werkstücks, d.h. des z-Wertes des Fokuspunktes gegenüber der Oberfläche des zu trennenden Werkstücks, erzielt. Diese Variation der Fokuslage kann durch unterschiedliche Techniken realisiert werden. So kann die Fokuslage bspw. mit Hilfe eines Aktors, z.B. eines Piezoelementes oder eines magnetischen Aktors, an einem die relative Fokuslage beeinflussenden Element erfolgen. So kann bspw. durch eine sinusförmige Bewegung der letzten Sammellinse der Fokussieroptik des Laserstrahle vor der Oberfläche des Werkstücks eine entsprechende sinusförmige Abstandsfunktion der Linie im Werkstück erzeugt werden. Selbstverständlich ist die mit dem Aktor erzeugte Variation nicht auf eine derartige Sinusfunktion beschränkt, sondern kann einem beliebig vorgegebenen Verlauf oder auch einer Überlagerung beliebiger geometrischer Funktionen folgen.

Es besteht auch die Möglichkeit, den Laser während der Überfahrt des Laserstrahls über das Werkstück gezielt ein- und auszuschalten, um andere Formen der Linie zu erzeugen.

Eine weitere Möglichkeit der Variation der Fokuslage in der Tiefenrichtung des Werkstücks besteht in der Nutzung bewegter oder in der Brennweite veränderlicher optischer Elemente,

wie beispielsweise der Spiegelelemente unterschiedlicher Brennweite auf einem Polygonscanner oder durch Nutzung von adaptiven Spiegeln.

Auch das Werkstück selbst kann selbstverständlich gegenüber dem Laserbearbeitungskopf in Abstandsrichtung geeignet bewegt werden oder umgekehrt.

Die Erzeugung der Linien kann beim vorgeschlagenen Verfahren mit einem entlang der Linien variierenden Energieeintrag des für die Erzeugung der Linien eingesetzten gepulsten Laserstrahls erfolgen. Dies kann beispielsweise über eine Variation der Pulsenergie/Laserleistung und/oder auch durch Variation des Pulsabstandes realisiert werden. Die Variation kann in fester Relation zur Struktur des zu trennenden Werkstücks bzw. zu den zu trennenden Teilstücken erfolgen. So kann z.B. an den Start~ und Kreuzungspunkten jeweils eine höhere Pulsenergie/ Laserleistung eingebracht und/oder ein geringerer Pulsabstand gewählt werden als in den dazwischen liegenden Bereichen.

Für alle Varianten des vorgeschlagenen Verfahrens kann eine Steuerung für die Fokuslage des Laserstrahls beim ersten Verfahrensschritt mit einer Sensorik verwendet werden. Diese ermöglicht bei Bedarf eine Synchronisation der Tiefenposition der Linie, d .h. des Abstands der Linie zur Oberfläche, mit der Struktur des Werkstücks bzw. der abzutrennenden Teilstücke. Die Sensorik dient hierbei der Identifizierung der relativen Position der Oberfläche des zu trennenden Werkstücks gegenüber des Laserfokus und der Identifizierung von eventuell vorhandenen Strukturen an der Oberfläche, wie z.B. Metallisierungsschichten, welche mit Hilfe der gepulsten Laserstrahlung oberflächennah entfernt werden müssen, um ein Eindringen der Laserstrahlung für den zweiten Bearbeitungsschritt zu ermöglichen. Die Steuerung führt dabei den Fokus bei Detektion derartiger Strukturen jeweils an die Oberfläche, um die störenden Strukturen zu entfernen.

Der erste Schritt kann an einem nicht gesondert vorbehandelten Substrat durchgeführt werden. Bei manchen Verfahrensvarianten wird jedoch vor dem ersten Schritt ein von dem ersten Schritt gesonderter Vorbehandlungsschritt durchgeführt, durch den im Bereich einer oder mehrerer vorgesehener vorgegebener Trennlinien auf der Oberfläche des Werkstücks befindliches Material, insbesondere eine Metallisierung und/oder PCM-Strukturen, beseitigt und/oder die Oberfläche zum Einkoppeln des Laserstrahls beim ersten Schritt vorbereitet wird. Dadurch kann die Effizienz und Präzision nachfolgender Schritte ggf. verbessert werden.

Der Vorbehandlungsschritt kann z.B. eine selektive Laserablation mittels eines Vorbehandlungs-Laserstrahls umfassen, der eine Strahlenergie hat, die höher als eine

Ablationsschwelle für das auf der Oberfläche befindliche Material und niedriger als eine Ablationsschwelle für das Material des Werkstücks ist. Dies kann z.B. genutzt werden, um eine Metallisierung und/oder PCM-Strukturen zu beseitigen. Alternativ oder zusätzlich kann der Vorbehandlungsschritt eine Glättung der Substratoberfläche mittels lokalen Umschmelzens durch Laserstrahlung umfassen. Hiermit können raue Oberflächen z.B. so geglättet werden, dass die Einkopplung des Laserstrahls beim nachfolgenden ersten Schritt gegenüber einer Einkopplung am nicht geglätteten Substrat verbessert wird.

Beim ersten Schritt der lokalen Laserbearbeitung ist es in vielen Fällen sinnvoll, wenn eine der Oberfläche nächste Linie modifizierten Materials in einem überwiegenden Anteil ihrer Länge in einem Abstand von 30 µm bis 150 µm, insbesondere in einem Abstand von 40 µm bis 60 µm von der Oberfläche im Werkstück erzeugt wird. Wenn diese oberste Spur recht nahe an Oberfläche ist, kann meist erreicht werden, dass der nachfolgend erzeugte Riss im Material bleibt, so dass die Oberfläche nicht durch Rissrückstände verschmutzt wird. Außerdem kann der Rissort ausreichend präzise im Spannungsfeld des späteren TLS-Schritts vorgegeben werden, so dass der Riss nicht oder kaum weglaufen kann und ein präziser Kantenverlauf erzielbar ist. Wenn in einem Bereich, in welchem mindestens zwei der Linien erzeugt werden, die entlang der Trennlinien übereinander liegen, ein Tiefenabstand zwischen den Linien mindestens 200 µm beträgt, können auch dickere Substrate mit nur wenigen Linien so präzise vorgeschädigt werden, dass die spätere Rissebene genau definiert bleibt. Vorzugsweise wird in einem solchen Fall zunächst eine weiter entfernt von der Oberfläche liegende Linie und danach eine der Oberfläche nähere Linie erzeugt, so dass die Einkopplung des Laserstrahls immer durch nicht geschädigtes Material erfolgt.

Zur Trennung des Substrats wird vorzugsweise bei dem zweiten Schritt des Thermischen Laser-Separierens ein zweiter Laserstrahl zur Erzeugung einer Heizzone auf das Werkstück gerichtet und nahe der Heizzone oder teilweise überlappend mit der Heizzone die Oberfläche zur Erzeugung einer Kühlzone mit einem Kühlmedium beaufschlagt. Es hat sich dabei als vorteilhaft herausgestellt, wenn ein Abstand zwischen einem Zentrum der Heizzone und einem Zentrum der Kühlzone entlang der Trennlinie in Abhängigkeit von mindestens einem Werkstückparameter und/oder von einer Trenngeschwindigkeit eingestellt wird. Hierdurch kann eine Verbesserung der Rissgeometrie begünstigt werden.

In manchen Verfahrensvarianten wird bei dem zweiten Schritt eine Fokussierung des zweiten Laserstrahls so eingestellt, dass eine Fokusposition zumindest in einer Anfangsphase einer Aufheizung mit Abstand zur Oberfläche im Inneren des Werkstücks

liegt. Die Wärme kann den aufzuheizenden Bereich dann von innen nach außen heizen. Dadurch ist eine tiefer gehende Aufheizung möglich als im Falle einer Fokussierung des Heizstrahls an der Substratoberfläche, insbesondere bei Materialien, deren Absorptionskoeffizient stark temperaturabhängig ist. Die tiefgehende Aufheizung begünstigt in Verbindung mit der Kühlung starke und gut lokalisierte Spannungsfelder, die eine präzise Rissausbreitung begünstigen. Günstige Abstände zur Oberfläche können z.B. im Bereich von 50 µm bis 500 µm liegen, insbesondere im Bereich von 100 µm bis 400 µm.

Diese Fokussierung eines zum Aufheizen ohne Schmelzen geeigneten Laserstrahls im Inneren des Werkstücks wird als unabhängiger nützlicher Aspekt für alle TLS-Verfahren angesehen, auch für solche, in denen die Trennlinie im vorgeschalteten Schritt an Oberfläche erzeugt wurde.

Die Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens weist dementsprechend eine erste Lasereinrichtung auf, mit der die eine oder mehreren Linien modifizierten Materials im Werkstück erzeugbar sind, eine zweite Lasereinrichtung, die zum thermischen Laserstrahl-Separieren des Werkstücks entlang der Trennlinien ausgebildet ist, und eine Steuerung, die die erste und die zweite Laserstrahleinrichtung zur Durchführung des Verfahrens ansteuert. Die erste Lasereinrichtung weist dabei Mittel zur Veränderung der Fokuslage des Laserstrahls in der Tiefe des Werkstücks (z-Richtung) auf. Die Steuerung ist so ausgebildet, dass sie die erste Lasereinrichtung bzw. die Mittel zur Veränderung der Fokuslage durch Variation der Fokuslage zur Erzeugung der einen oder der mehreren Linien mit einem variierenden Abstand von der Oberfläche im Werkstück ansteuert.

In einer Ausgestaltung umfasst die Vorrichtung auch eine Kühleinrichtung, mit der die Oberfläche des Werkstücks beim thermischen Laserstrahl- Separieren entlang der Trennlinien lokal mit einem Kühlmedium beaufschlagt werden kann. Als Kühlmedium kann beispielsweise Wasser, ein Wasser-Luft-Gemisch, Luft, CO_2 oder N_2 eingesetzt werden und über eine Sprühdüse auf die Oberfläche des Werkstücks gerichtet werden, um in Kombination mit dem Laserstrahl die für die Trennung erforderlichen mechanischen Spannungen im Werkstück hervorzurufen. Auch andere Kühlmedien können eingesetzt werden.

Die Steuerung kann hierbei verschiedene Betriebsmodi aufweisen, um die erste Lasereinrichtung zur Erzeugung unterschiedlicher Verläufe der Trennlinien gemäß den unterschiedlichen Ausgestaltungen des vorgeschlagenen Verfahrens anzusteuern.

Das Verfahren und die Vorrichtung lassen sich zur Trennung von flachen spröden Werkstücken auf den unterschiedlichsten technischen Gebieten einsetzen, insbesondere für das Trennen von Bauelementen, die auf dünnen Substraten oder Scheiben hergestellt werden. So können im Bereich der Mikroelektronik oder Nanoelektronik Halbleiterscheiben unterschiedlicher Zusammensetzungen hinsichtlich des Substratmaterials und zu trennender Schichtstapel getrennt werden. Hier kommen alle Substrate in Frage, die auch mit den bekannten Verfahren des Standes der Technik bearbeitet werden können. Dies sind z. B. mono- und multikristalline Halbleiter, Verbindungshalbleiter, amorphe Halbleiter für den Einsatz in der Photovoltaik u.a. Auch Systeme mit kombinierten elektrischen, mechanischen, chemischen und/oder biologischen Bestandteilen, z. B. mikroelektromechanische Systeme (MEMS) oder nanoelektromechanische Systeme (NEMS), lassen sich gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren bearbeiten. In der Glasindustrie kann das Verfahren bspw. bei der Herstellung von Displays, Fliesen usw. eingesetzt werden. Das Verfahren und die Vorrichtung sind selbstverständlich nicht auf die obigen beispielhaft angeführten Anwendungen beschränkt.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Das vorgeschlagene Verfahren und die zugehörige Vorrichtung werden nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Zeichnungen nochmals näher erläutert. Hierbei zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Abschnittes eines Substrates mit Bauelementen in Draufsicht;

Fig. 2 eine schematische Querschnittsdarstellung eines Abschnitts eines Substrates, in dem eine sinusförmige Linie gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren erzeugt wird;

Fig. 3 eine schematische Querschnittsdarstellung durch zwei exemplarische Bauelemente bzw. Teilstücke mit einer gemäß dem Verfahren erzeugten Linie modifizierten Materials;

Fig. 4 eine schematische Querschnittsdarstellung eines Abschnitts eines Substrates, in dem mehrere (im Beispiel zwei) Liniensegmente modifizierten Materials gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren erzeugt wurden;

Fig. 5 eine weitere schematische Querschnittsdarstellung eines Abschnitts eines Substrates, in dem mehrere {im Beispiel zwei) Liniensegmente modifizierten Materials gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren erzeugt wurden,

Fig. 6 in 6A eine schematische Ansicht einer Ausführungsform einer Vorrichtung zur Trennung flacher Werkstücke in Teilstücke und in 6B bis 6D Detailansichten;

Fig. 7 eine schematische Ansicht einer Bearbeitung zur Erzeugung übereinander liegenden Linien modifizierten Materials;

Fig. 8 eine Fokussierung des zweiten Laserstrahls im Inneren des Werkstücks zum Aufheizen beim thermischen Laser-Separieren; und

Fig. 9 Detailansichten einer zweiten Laserbearbeitung zur Aufheizung des Werkstücks beim thermischen Laser-Separieren zu aufeinander folgenden Zeitpunkten.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

Figur 1 zeigt in Draufsicht einen Ausschnitt aus einem Substrat 1 mit zu trennenden Chips 101 als Bauelemente, um die hier auftretenden Begriffe zu klären. In der Figur sind außer den Chips 101 auch der Ritzrahmen 102, die Ritzrahmenbreite 103, die Trennfuge (Kerf) 104, die Trennfugen-Breite 105 sowie die Bewegungsrichtungen 203, 204 (X- und Y-Richtung) beim Durchführen der Trennschritte angedeutet.

Figur 2 zeigt einen Querschnitt durch ein entsprechendes Substrat 1, das in einzelne Teilstücke bzw. Bauelemente vereinzelt werden soll. Das vorgeschlagene Verfahren setzt hierbei zwei getrennte Bearbeitungsschritte ein. Im ersten Schritt werden eine oder mehrere Linien 2 modifizierten Materials entlang der definierten Trennlinie zur Lokalisierung des TLS–Rissstarts und zur Führung des TLS-Risses durch geeignete Fokussierung eines gepulsten Laserstrahls 5 auf und/ oder in das zu trennende Substrat 1 erzeugt. Im Beispiel der Figur 2 hat die mit dem Laserstrahl 5 erzeugte Linie 2 modifizierten Materials einen sinusförmig variierenden Abstand von der Oberfläche des Substrates 1 sowie auch einen entsprechenden Abstand von der Rückseite. In diesem Beispiel werden ein Mindestabstand 4 zur Oberfläche sowie ein Mindestabstand 3 zur Rückseite des Substrates 1 eingehalten. Die Variation des Abstandes wird durch Veränderung der Tiefenlage des Fokus 6 des Laserstrahls 5 im Substrat 1 erzeugt. Die Mindestabstände 3, 4 können bei dem vorgeschlagenen Verfahren auch Null werden, so dass die Linie 2 auch abschnittsweise an der Oberfläche und/oder Rückseite des Substrates 1 verlaufen kann. Bei dem vorgeschlagenen Verfahren wird ein Verlauf an der Oberfläche vorzugsweise nur an bestimmten Stellen, bspw. zur Initiierung des Risses oder an Kreuzungspunkten von Trennlinien erzeugt, um die Qualität der Bauteilkanten der getrennten Bauteile nicht durch diese Materialmodifikation zu beeinträchtigen.

Figur 3 zeigt ein Beispiel, bei der die Abstandsfunktion der erzeugten Linie 2 von der Oberfläche periodisch verläuft und an die Dimensionen der zu trennenden Bauelemente 7 angepasst ist. Figur 3 zeigt hierbei einen Querschnitt durch zwei exemplarische Bauelemente 7 eines Substrates. Der Verlauf der Linie 2 ist hierbei so gewählt, dass die Linie 2 an den jeweiligen Rändern der Bauelemente 7 an der Oberfläche liegt, während sie sich dazwischen in die Tiefe erstreckt. Diese Start- bzw. Endpunkte 8 der jeweiligen Linie zur Lokalisierung und Führung des TLS-Risses bei der Vereinzelung der Bauelemente 7 werden somit hier an der Oberfläche gewählt.

Figur 4 zeigt schließlich ein weiteres Beispiel für einen möglichen Verlauf der Linien 2 im Substrat 1. Bei dieser Ausgestaltung sind in dem im Querschnitt dargestellten Abschnitt des Substrats 1 zwei entlang der Trennlinie aufeinander folgende Linien 2 erzeugt, die sich in einem Bereich 9 um einen bestimmten Wert überlappen. Die Überlappung wird durch den unterschiedlichen Abstand der beiden, in diesem Beispiel gebogenen, Linien 2 von der Oberfläche im überlappenden Bereich 9 realisiert.

Figur 5 zeigt schließlich ein weiteres Beispiel einer Variante von, in diesem Beispiel gebogenen, Linien 2, die sich in diesem Fall nicht überlappen, sondern in Richtung der jeweiligen Trennlinie einen entsprechenden Abstand 10 zueinander aufweisen.

Der geometrische Verlauf der Linien 2, eine eventuelle Überlappung oder ein eventueller Abstand werden je nach Anforderungen und gewünschtem Ergebnis der Trennung der Bauteile in Abhängigkeit von dem Werkstückmaterial und der Werkstückdicke gewählt. Nach dem Einbringen der entsprechenden Linie(n) im ersten Schritt wird im zweiten Schritt der TLS-Prozess durchgeführt, um das Substrat vollständig zu trennen (Cleave-Schritt). Dies erfolgt durch thermisch induzierte mechanische Spannungen, welche durch eine Kombination aus einem weiteren Laser und einer Kühlung entlang der Trennlinie eingebracht werden.

So kann beispielsweise zur Trennung eines Siliziumsubstrates einer Dicke von 400 µm in einzelne Chips für die Erzeugung der Linien im ersten Schritt ein gepulster Nd:YAG- Laser mit einer mittleren Leistung von 1,2 W eingesetzt werden. Für den anschließenden TLS-Schritt kann dann ein Yb:YAG CW-Laser mit einer cw-Laserleistung von 130 W und einer Vorschubgeschwindigkeit von 250 mm/s eingesetzt werden.

Zur weiteren Erläuterung von Varianten des Verfahrens und der Vorrichtung zeigt Fig. 6 in Teilfigur 6A eine schematische Ansicht einer Vorrichtung 600 zur Trennung eines flachen Werkstücks 1 in mehrere Teilstücke. Die Vorrichtung ist nach Art einer Fertigungslinie

aufgebaut und umfasst mehrere nacheinander vom Werkstück zu durchlaufende Bearbeitungseinrichtungen, in denen jeweils zeitlich aufeinanderfolgend unterschiedliche Bearbeitungsschritte am Werkstück durchgeführt werden.

Eine Vorbehandlungseinrichtung PRE ist dafür konfiguriert, vor dem oben erwähnten ersten Schritt (zur Erzeugung von Linien modifizierten Materials) mindestens einen Vorbehandlungsschritt durchzuführen, durch den im Bereich einer oder mehrerer vorgesehener vorgegebener Trennlinien in den Bereichen der Ritzrahmen auf der Oberfläche des Werkstücks befindliches Material, wie zum Beispiel eine Metallisierung und/oder PCM-Strukturen, beseitigt werden kann und/oder gegebenenfalls die Oberfläche zum Einkoppeln des Laserstrahls bei dem nachfolgenden ersten Schritt noch vorbereitet werden kann. Die Vorbehandlung kann z.B. eine Glättung der Substratoberfläche mittels lokalen Umschmelzens umfassen, was hier auch als „Laserpolieren“ bezeichnet wird.

Nach dem Vorbehandlungsschritt wird das Werkstück zur nachfolgenden ersten Laserbearbeitungseinrichtung DS transportiert, in welcher der erste Schritt zur Erzeugung der mindestens einen Linie LM modifizierten Materials durchgeführt wird. Da diese Linie mindestens teilweise mit Abstand unterhalb der Oberfläche S des Werkstücks 1 in einer gewissen Tiefe im Inneren des Material erzeugt wird, wird die Einrichtung auch als Deep-Scribe-Einrichtung (abgekürzt DS) bezeichnet. Diese Einrichtung enthält die erste Lasereinrichtung L1, mit der durch lokale Materialbearbeitung mittels des Laserstrahls 5 durch die Oberfläche S des Werkstücks 1 hindurch ein oder mehrere Linien LM modifizierten Materials entlang einer oder mehrerer vorgegebener Trennlinien im Werkstück erzeugt werden können. Die Laserbearbeitung erfolgt hier so, dass durch die Linien modifizierten Materials eine Reduzierung der Bruchspannung des Werkstücks entlang der Trennlinien bewirkt wird.

Das Werkstück wird danach zur nachfolgenden Einrichtung transportiert, die für das thermische Laserstrahl-Separieren konfiguriert ist und hier auch als TLS-Einrichtung TLS bezeichnet wird. Die TLS-Einrichtung umfasst eine zweite Lasereinrichtung L2, die zum thermischen Laserstrahl-Separieren des Werkstücks entlang der Trennlinien ausgebildet ist, sowie eine Kühleinrichtung CL, mit der die Oberfläche des Werkstücks beim thermischen Laserstrahl-Separieren entlang der Trennlinien lokal mit einem Kühlmedium beaufschlagt werden kann, so dass sich im Werkstück aufgrund der Temperaturunterschiede thermisch induzierte mechanische Spannungen aufbauen, die zum präzisen Riss des Werkstückmaterials entlang der vorgegebenen Trennlinien führen. Jede dieser Einrichtung ist an eine Steuerung ST angeschlossen, welche die einzelnen Verfahrensschritte entsprechend der Vorgabe des Prozesses steuert.

Die Lasereinrichtung L0 der Vorbehandlungseinrichtung PRE ist so ausgelegt, dass mittels des Laserstrahls 50 eine selektive Laserablation von Materialien stattfindet, die sich auf der Oberfläche S des Werkstücks im Bereich der Ritzrahmen 102 befinden, wie beispielsweise PCM-Strukturen PCM und/oder eine Metallisierung. Ein Divergenz-Modifizierer DIV0 und eine nachfolgende Sammellinse LS0 sind dabei so konfiguriert, dass der Laserstrahl 50 auf die zu beseitigenden Strukturen an der Oberfläche fokussiert wird (Fig. 6B). Die Strahleigenschaften des Laserstrahls sind so eingestellt, dass die Ablationsschwelle AS2 für das auf der Oberfläche befindliche, zu beseitigende Material deutlich überschritten wird, während die Ablationsschwelle AS1 für den Werkstoff des Werkstücks 1 deutlich unterschritten wird (Fig. 6C). Dadurch findet am Werkstückmaterial praktisch kein Materialabtrag statt, während das bestrahlte Material der auf der Oberfläche befindlichen Strukturen verdampft oder auf andere Weise beseitigt wird.

Mithilfe der Vorbehandlungseinrichtung PRE kann der Ritzrahmen 102 (oder ein definierter Teil davon), d.h. der Bereich zwischen den gewünschten Strukturen auf den Teilstücken 101, gesäubert werden. Eventuell kann die Oberfläche auch modifiziert werden, um beim nachfolgenden ersten Schritt eine bessere Einkopplung des Lasers zu fördern. Als Vorbehandlungslaser wird vorzugsweise ein Kurzpulslaser, insbesondere ein Nanosekunden-Laser, Picosekunden-Laser oder ein Femtosekunden-Laser verwendet. Die Laserwellenlänge wird vorzugsweise so gewählt, dass die Laserstrahlung im Werkstückmaterial praktisch nicht absorbiert wird, aber hohe Absorption im Material der darauf liegenden Schichten oder Strukturen vorliegt.

Alternativ oder zusätzlich kann z.B. mittels Laser mit Pulslängen z.B. im Bereich von wenigen ns bis zu einigen ms ein lokales Umschmelzen des Substratmaterials erfolgen. Dieser Vorbehandlungsprozess, der hier auch als „Laserpolieren" bezeichnet wird, kann z.B. bei sehr rauhen Oberflächen vorteilhaft sein, an denen eine Einkopplung des Laserstrahls in der nachgeschalteten DS-Station, d.h. beim Erzeugen der Linien modifizierten Materials, aufgrund der großen Oberflächenrauheit gestört ist, da das Laserlicht zu stark diffus gestreut wird. Eine Glättung mittels Umschmelzen kann die kurzfrequenten Rauhigkeiten reduzieren und ermöglicht so eine bessere Einkopplung und/oder eine geringere diffuse Streuung. Typische Umschmelztiefen können in manchen Fällen wenige µm betragen, z.B. bis zu 5µm, ggf. aber auch deutlich größer sein, beispielsweise bis zu mehreren hundert Mikrometern, z.B. 200µm.

Die in Richtung des Materialflusses hinter der Vorbehandlungseinrichtung angeordnete Deep-Scribe-Einrichtung DS mit der ersten Lasereinrichtung L1 dient zur Erzeugung der Linien LM modifizierten Materials. Hierbei muss der Laserstrahl so fokussiert werden, dass

die Linien über mehr oder weniger ausgedehnte lange Bereiche mit Abstand unterhalb der Oberfläche S innerhalb des Materials des Werkstücks 1 in einer vorgegebenen Tiefe verlaufen. Um eine Einkopplung und Fokussierung in der gewünschten Tiefe zu erreichen, sind Mittel zur Veränderung der Fokuslage des Laserstrahls 5 in der Tiefe des Werkstücks vorgesehen. Im Beispielsfall umfassen diese Mittel einen variabel einstellbaren Divergenz-Modifizierers DIV1 und eine nachfolgende Sammellinse L1. Die Sammellinse ist stationär, muss also nicht bewegt werden. Der variable Divergenz-Modifizierer DIV1 ist dafür konfiguriert, die Divergenz des in Richtung Sammellinse L1 austretenden Strahls nach Maßgabe von Steuersignalen der Steuerung ST zu verändern. Eine Vergrößerung der Divergenz führt dabei zu einer tieferen Fokuslage im Vergleich zu kleineren Divergenzwinkeln oder einem parallelen Strahlungseinfall. Andere in dieser Anmeldung beschriebene Verfahren zur Veränderung der Fokuslage sind ebenfalls möglich.

Bei manchen Verfahrensvarianten wird dieser Teilprozess so gesteuert, dass die Linie LM modifizierten Materials, also eine Schädigungsspur zur Rissführung, etwa im oberen Drittel des Werkstücks (gesehen von der Oberfläche S) entsteht, insbesondere in einem Tiefenbereich, der einem Abstand D1 zwischen 30 µm und 150 µm von der Oberfläche S entspricht.

Bei den anhand von Fig. 6 beschriebenen Verfahrensvarianten werden unter Umständen viele Linien LM modifizierten Materials auf bzw. in das Substrat gebracht, die sich zwangsläufig von oben betrachtet auch im Bereich von Kreuzungspunkten kreuzen (vgl. Fig. 1). Da Kreuzungspunkte potentiell mehr Schaden nehmen können, da dort mindestens zweimal bearbeitet bzw. mittels Laser bestrahlt werden, ist es bei manchen Varianten vorgesehen, die Tiefenlage der Linien so vorzugeben, dass sich die Linien der einen Richtung und der anderen, quer dazu verlaufenden Richtung im Bereich der Kreuzungspunkte in unterschiedlichen Tiefen befinden.

Nachdem mithilfe der ersten Lasereinrichtung L1 Linien modifizierten Materials bzw. Bereiche mit reduzierter Bruchspannung des Werkstückmaterials erzeugt wurden, erfolgt nach einem Transport des Werkstücks zur TLS-Einheit TLS der zweite Schritt, nämlich die Auftrennung des Werkstücks entlang von Trennlinien durch thermisches Laserstrahl-Separieren. Die zweite Lasereinrichtung L2 nutzt hierfür einen Laserstrahl 60, dessen Wellenlänge, Energie und Intensität so gewählt sind, dass das Werkstückmaterial durch den Laserstrahl nicht modifiziert, insbesondere nicht aufgeschmolzen wird, sondern lediglich eine lokalisierte Aufheizung des Werkstückmaterials in einer Heizzone HZ (Fig. 6D, Ansicht von oben) erfolgt. Gleichzeitig wird das Werkstückmaterial im oberflächennahen Bereich mithilfe der Kühleinrichtung CL lokal im Bereich einer Kühlzone CZ gekühlt. Die Kühleinrichtung hat

hierzu eine Kühlmitteldüse CD, mit deren Hilfe ein fluides Kühlmedium auf die Werkstückoberfläche S gesprüht oder geblasen werden kann. Als Kühlmittel kann beispielsweise ein Gemisch aus Kühlgas (zum Beispiel Luft) und Wassertröpfchen eingesetzt werden.

Die starken, thermisch induzierten Spannungen insbesondere am Übergang von der Heizzone zur Kühlzone führen zu einem Riss R, der mit hoher Präzision weitgehend in einer Rissebene senkrecht zur Oberfläche verläuft und sich mit der Vorschubgeschwindigkeit des Werksstücks beim thermischen Laser-Separieren kontrolliert ausbreitet.

Eine Besonderheit der TLS-Einheit TLS besteht darin, dass der Abstand HC zwischen dem Zentrum der Heizzone und dem Zentrum der Kühlzone stufenlos verstellt werden kann, z.B. in einem Abstandsbereich von ca. 1 mm bis 5 mm, ggf. auch darüber oder darunter. Dies ist beispielsweise dadurch realisiert, dass die Kühlmitteldüse CD mittels einer Einstelleinrichtung in Bezug auf die Lasereinrichtung L2 linear verschoben und an unterschiedlichen Positionen arretiert werden kann. Hierdurch können die Eigenschaften des thermischen Spannungsfelds optimal an Prozessparameter des Trennungsprozesses, wie beispielsweise Vorschubgeschwindigkeit des Werkstücks, Werkstückmaterial etc. angepasst werden.

Anhand von Fig. 7 werden weitere Varianten des ersten Schritts, nämlich der Erzeugung von modifizierten Linien, innerhalb des Werkstückmaterials erläutert. Dargestellt ist die letzte, stationär angebrachte Sammellinse L1 und der dieser vorgeschaltete Divergenz-Modifizierer DIV1, der eine stufenlose Einstellung der Strahldivergenz ermöglicht. Im Beispielsfall sollen in einem Werkstück 1 mit einer Dicke von mehr als 400 µm mehrere Linien modifizierten Materials vertikal übereinander entlang einer Trennlinie erzeugt werden, um beim späteren thermischen Laserseparieren den Verlauf der Trennebene senkrecht zur Oberfläche S genau festzulegen. In einem ersten Betriebsmodus wird die erste Laserstrahleinrichtung so eingestellt, dass der Laserstrahl durch die Oberfläche S hindurch in eine Ebene in einem ersten Fokus F1 fokussiert wird, der in einem Abstand D1 von beispielsweise 40 bis 60 µm unter der Oberfläche liegt, um eine erste Linie LM1 modifizierten Materials zu erzeugen. Diese verläuft über den größten Teil ihrer Länge etwa parallel zur Oberfläche S und kann in Randzonen bis zur Oberfläche laufen. Randzonen können hierbei auch Bereiche sein, die erst später durch die Separierung in orthogonaler Richtung dazu werden.

In einem zweiten Betriebsmodus wird der gleiche Bereich des Ritzrahmens entlang der gewünschten Trennlinie ein zweites Mal durchfahren, wobei der aus dem Divergenz-Modifizierer DIV1 austretende Strahl mit höherer Divergenz eingestellt wird, so dass sich die

Ebene des zweiten Fokus F2 des Laserstrahls dann in einer größeren Tiefe innerhalb des Materials befindet, und zwar in einem Tiefenabstand D2 von der ersten Linie LM1. Es hat sich gezeigt, dass vertikale Abstände D2 in der Größenordnung von 200 µm oder mehr ausreichen, um sicherzustellen, dass beim nachfolgenden thermischen Laserseparieren der Riss weitgehend exakt in der gewünschten Trennebene entlang der Trennlinie verläuft. Hier wird ein Vorteil des thermischen Laserseparierens genutzt, der darin besteht, dass durch die stark lokalisierten Spannungsfelder im Material ein Rissfortschritt im Wesentlichen senkrecht zur Werkstückoberfläche begünstigt wird, so dass relativ große Abstände zwischen Schädigungslinien ausreichen, um die gewünschte Trennebene vorzugeben.

Bei manchen Varianten wird zunächst die tiefer liegende Linie LM2 und danach die näher an der Oberfläche liegende Linie LM1 erzeugt. An dickeren Substraten können auch drei oder mehr als drei Linien in der Tiefe übereinanderliegend erzeugt werden.

Alternativ zu der bildlich dargestellten Aufteilung und Nacheinander-Ausführung von Vorbehandlungsschritt (PRE), Erzeugung von Linien modifizierten Materials (erster Laserbearbeitungsschritt (Deep-Scribe) durch erste Laserbearbeitungseinrichtung DS) und nachfolgendem Thermischen Laser-Separieren (TLS) für jeweils das gesamte Substrat, sind auch andere Verfahrensführungen und Systemkonfigurationen möglich. Beispielsweise können die Module für den Vorbehandlungsschritt (PRE), das Erzeugen von Linien modifizierten Materials (DS) und das Thermische Laser-Separieren unmittelbar hintereinander geschaltet sein, so dass diese Schritte jeweils entlang einer Trennlinie hintereinander ausgeführt werden, bevor die nächste, Trennlinie bearbeitet wird. Es wäre möglich, die Module in einem Kombinationsmodul zu vereinen, so dass für jeden Dicing-Schritt (Trennschritt) alle Operationen jeweils direkt hintereinander ausgeführt werden. Es ist auch möglich, dies nur mit einzelnen Modulen zu tun, indem z.B. nur die Vorbehandlungseinrichtung (PRE) und die Einrichtung DS zum Erzeugen der Linien modifizierten Materials zu einem Kombimodul zusammengefasst werden. Hier kann unter Umständen eine Laserquelle eingespart werden, indem der von einer gemeinsamen Laserquelle ausgehende Laserstrahl mittels einer Strahlteilereinrichtung in einen ersten Teilstrahl zur Vorbehandlung der Oberfläche und einen zweiten Teilstrahl zur Erzeugung der Linien modifizierten Materials aufgeteilt wird. Eine Strahlteilung kann auch innerhalb eines einzelnen Moduls vorgesehen sein, um z.B. bei der Vorbehandlung und/oder bei dem ersten Laserbearbeitungsschritt zwei oder mehr Teilstrahlen zu erzeugen, die das Substrat synchron entlang von zueinander parallelen Trennlinien bearbeiten.

Im Hinblick darauf, dass der Schritt des thermischen Laser-Separierens in vielen Fällen langsamer bzw. mit geringerer Vorschubgeschwindigkeit erfolgen muss als die vorgelagerten

Schritte, insbesondere der erste Laserbearbeitungsschritt, kann vorgesehen sein, einer ersten Laserbearbeitungseinrichtung zwei oder mehr zeitlich parallel betreibbare zweite Laserbearbeitungseinrichtungen und Kühleinrichtungen nachzuschalten und die Substrate nach Abschluss der ersten Laserbearbeitungsschritt mittels einer Verteilereinrichtung auf die nachfolgenden TLS-Stationen zu verteilen.

Anhand der Fig. 8 und 9 werden Besonderheiten beim Laserstrahl-basierten Aufheizen während des thermischen Laserseparierens, also beim zweiten Schritt erläutert. Es ist möglich, die zweite Laserstrahleinrichtung für das Aufheizen so zu fokussieren, dass sich der Fokusbereich des Laserstrahls an oder in der Nähe der Oberfläche S des Werkstücks befindet. Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass es vorteilhaft sein kann, den Fokusbereich F3 in das Innere des Materials, d.h. mit vertikalem Abstand zur Oberfläche S des Werkstücks 1 zu legen. Optimale Abstände D3 der Fokuslage zur Oberfläche können materialabhängig variieren und beispielsweise im Bereich von 100 µm bis 500 µm liegen. Zusätzlich muss die Wellenlänge des zweiten Laserstrahls passend zum Material des Werkstücks gewählt werden, beispielsweise 1070nm für die Bearbeitung von Silizium. Der zweite Laserstrahl 60 wird dabei vorzugsweise so fokussiert, dass die Schnittfläche zwischen dem Laserstrahl und der Oberfläche S vollständig innerhalb des Ritzrahmens mit lateralem Sicherheitsabstand zu den benachbarten Strukturen STR der Teilstücke liegt, so dass diese vom Laserstrahl nicht getroffen werden.

Wenn der Bereich größter Energiedichte, d.h. der Fokusbereich, in das Innere des Werkstückmaterials verlegt wird, kann erreicht werden, dass die aufgeheizte Zone bis in größere Tiefen reicht als im Falle einer Fokussierung an der Oberfläche. Hierdurch kann erreicht werden, dass sich auch das angestrebte thermisch induzierte Spannungsfeld innerhalb des Materials in größere Tiefen erstreckt als bei einer Fokussierung an der Oberfläche. Hierdurch wiederum ist es möglich, den Verlauf der Rissebene (idealerweise senkrecht zur Oberfläche) besser zu kontrollieren als im Falle einer nur oberflächennahen Aufheizung.

Eine Fokussierung des Laserstrahls im Inneren des Werkstücks beim zweiten Schritt ermöglicht eine Erzeugung der gewünschten Aufheizung vom Inneren des Werkstücks in Richtung zur Oberfläche. Die Aufheizung in tieferen Zonen mit größerem Abstand von der Oberfläche ist bei einer Fokussierung im Inneren des Werkstückmaterials auch bei solchen Werkstücken möglich, deren Werkstückmaterial einen stark temperaturabhängigen Absorptionskoeffizienten für den Laserstrahl des zweiten Schritts aufweist. In diesem Fall ändert sich die Eindringtiefe des Laserstrahls mit zunehmender Temperatur bzw. zunehmender Bestrahlungsdauer. Fig. 9 zeigt hierzu schematisch zur Erläuterung einen

Abschnitt des Werkstücks zu unterschiedlichen Zeiten während der Bestrahlung zur Aufheizung des Werkstückmaterials. Zum Zeitpunkt t_1 am Anfang der Aufheizphase entsteht der größte Wärmeanteil im Bereich des innerhalb des Materials liegenden Fokus mit großem Abstand zur Oberfläche. Mit zunehmender Aufheizung nimmt die Absorption des Werkstückmaterials zu, so dass die Eindringtiefe des Laserstrahls zu einem späteren Zeitpunkt $t_2>t_1$ bereits reduziert ist. Zu einem nochmals späteren Zeitpunkt $t_3>t_2$ kann der Laserstrahl aufgrund der nochmals gestiegenen Absorption kaum noch in das Material eindringen. Auf diese Weise kann erreicht werden, dass auch ohne maschinenseitige Verstellung der Fokuslage das Werkstück im vorgesehenen Trennbereich bis in größere Tiefen ausreichend aufgeheizt wird, um ein bis in die Tiefe des Materials reichendes Spannungsfeld zu erzeugen. Hierfür können sowohl kreisrunde als auch elliptische, quadratische oder nicht-quadratische längliche rechteckige Strahlquerschnitte benutzt werden.

Diese Variante kann unabhängig von den sonstigen Merkmalen der in dieser Anmeldung beschriebenen Erfindung auch bei anderen Verfahren des thermischen Laserseparierens vorteilhaft sein und wird als unabhängige Erfindung angesehen. Insbesondere kann diese Vorgehensweise bei der Aufheizung auch dann genutzt werden, wenn im vorhergehenden ersten Schritt die Linien geschädigten Materials nur entlang der Oberfläche des Werkstücks erzeugt wurden.

In einem nachfolgenden, nicht näher dargestellten Reinigungsschritt kann das bearbeitete Werkstück mit den nun voneinander getrennten Teilstücken in einer Reinigungsoperation gereinigt werden. Hierzu kann beispielsweise die Oberfläche mittels Druckluft oder einem anderen Druckgas freigeblasen werden, um eventuelle Rückstände zu beseitigen. Es ist auch möglich, das Werkstück als Ganzes schnell zu drehen, um die Oberfläche unter Nutzung von Zentrifugalkräften zu reinigen. Diese Maßnahmen können kombiniert werden.

Das vorgeschlagene Verfahren hat gegenüber den bekannten Verfahren des Stealth-Dicing (SD) und des bisher bekannten thermischen Laserstrahl-Separierens (TLS) mit einer Ritzkante bzw. Linie entlang der Oberfläche des Werkstücks zahlreiche Vorteile, wie sie aus der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen sind:

#	Merkmal	vorgeschlagenes Verfahren	SD	TLS
1	Ablationsfreie Trennung von dünnem Rückseitenmetall	Ja	Nein	Ja

2	Trennung von ausgedehnten PCM-Strukturen im Ritzrahmen	Ja	Nein	Eingeschränkt
3	Trennung von dünnem Vorderseitenmetall	Ja	Nein	Nein
4	Kombinierter „Ein-Pass-Prozess“ für Substratdicken bis 925 µm (Si) bzw. 450 µm (SiC)	Ja	Nein	Ja
5	Trennung hochdotierter Scheiben	Ja	Nein	Ja
6	Geradlinigkeit der Trennkarte	Gut	Gut	Weniger gut
7	Qualität der Seitenfläche	Modifikation wenige µm, unabhängig von Substratdicke, Rest glatt	Modifikation ca. 50% der Substratdicke, Rest glatt	
8	Abhängigkeit der Ritzrahmenbreite von der Scheibendicke	Gering	Stark	Gering
9	Selektive Trennung gestapelter Substrate	Gut und gerade	Nein	Gut, weniger gerade
10	Vollständige Trennung gestapelter Substrate	Gut und gerade	Nein	Gut, weniger gerade
11	Trennung vibrations- und/oder schockempfindlicher Bauelemente, z.B. MEMS	Ja	Eingeschränkt	Eingeschränkt

BEZUGSZEICHENLISTE

1	Substrat
2	Linie
3	Mindestabstand zur Rückseite
4	Mindestabstand zur Oberfläche
5	Laserstrahl
6	Laserfokus

7 Bauelemente

8 Start- bzw. Endpunkt einer Linie

9 Überlappender Bereich

10 Abstand zwischen zwei Linien

101 Chip

102 Ritzrahmen

103 Ritzrahmenbreite

104 Trennfuge

105 Trennfugen- Breite

203 X-Richtung

204 Y-Richtung

\- - - - - - - - - - - - - - -

Patentansprüche

1. Verfahren zur Trennung eines Werkstücks (1) in mehrere Teilstücke (7), bei dem
- in einem ersten Schritt durch lokale Materialbearbeitung mit einem Laserstrahl (5) durch eine Oberfläche des Werkstücks eine oder mehrere Linien (2) modifizierten Materials entlang einer oder mehrerer vorgegebener Trennlinien im Werkstück (1) erzeugt werden, die zu einer Reduzierung der Bruchspannung des Werkstücks (1) entlang der Trennlinienführen, und
- in einem zweiten Schritt das Werkstück (1) entlang der Trennlinien durch thermisches Laserstrahl-Separieren in die Teilstücke (7) aufgetrennt wird, dadurch gekennzeichnet,
dass die eine oder die mehreren Linien (2) vollständig oder zumindest abschnittsweise mit einem Abstand von der Oberfläche im Werkstück (1) erzeugt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die eine oder die mehreren Linien (2) jeweils so erzeugt werden, dass sie an der Oberfläche des Werkstücks (1) starten und sich dann mit einem variierenden Abstand zur Oberfläche entlang der Trennlinie im Werkstück (1) erstrecken.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2 ,
dadurch gekennzeichnet,
dass die eine oder die mehreren Linien (2) jeweils so erzeugt werden, dass sie an einer Randposition jedes Teilstückes (7) an der Oberfläche starten und sich dann mit einem variierenden Abstand zur Oberfläche entlang der Trennlinie im Werkstück (1) erstrecken.

4. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die eine oder die mehreren Linien (2) jeweils so erzeugt werden, dass sie an einer ersten Randposition jedes Teilstückes (7) an der Oberfläche starten, sich dann mit einem variierenden Abstand zur Oberfläche entlang der Trennlinie im Werkstück (1) erstrecken und an einem der ersten Randposition am Teilstück (7) gegenüberliegenden zweiten Randposition wieder an die Oberfläche treten.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass die eine oder die mehreren Linien (2) als Linien aufgeschmolzenen und/oder amorphisierten und/oder an der Oberfläche abgetragenen Materials erzeugt werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass mindestens zwei der Linien (2) erzeugt werden, die entlang der Trennlinien teilweise übereinander liegen.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass die eine oder die mehreren Linien (2) mit entlang der Linien (2) variierendem Energieeintrag des Laserstrahls (S) erzeugt werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass die eine oder die mehreren Linien (2) mit einem gepulsten Laserstrahl (S) erzeugt werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass der variierende Abstand der einen oder der mehreren Linien (2) von der Oberfläche des Werkstücks durch Variation einer Fokuslage des Laserstrahls (5) in Dickenrichtung des Werkstücks (1) erzeugt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet,
dass die eine oder die mehreren Linien (2) jeweils im Bereich von Oberflächenstrukturen oder einer Oberflächenmetallisierung auf den Trennlinien, die eine Einkopplung von Laserstrahlung für das thermische Laserstrahl-Separieren in das Werkstück (1) behindern würden, an die Oberfläche geführt werden, um diese Oberflächenstrukturen oder Oberflächenmetallisierung auf den Trennlinien mit dem Laserstrahl (5) lokal zu entfernen.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10,
dadurch gekennzeichnet,
dass vor dem ersten Schritt ein von dem ersten Schritt gesonderter Vorbehandlungsschritt durchgeführt wird, durch den im Bereich einer oder mehrerer vorgesehener vorgegebener Trennlinien auf der Oberfläche des Werkstücks befindliches Material, insbesondere eine Metallisierung und/oder PCM-Strukturen, beseitigt und/oder die Oberfläche zum Einkoppeln des Laserstrahls beim ersten Schritt vorbereitet wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Vorbehandlungsschritt eine selektive Laserablation mittels eines Vorbehandlungs-Laserstrahls umfasst, der eine Strahlenergie hat, die höher als eine Ablationsschwelle für das auf der Oberfläche befindliche Material und niedriger als eine Ablationsschwelle für das Material des Werkstücks ist, und/oder dass der Vorbehandlungsschritt eine Glättung der Substratoberfläche mittels lokalen Umschmelzens umfasst.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine der Oberfläche nächste Linie modifizierten Materials in einem überwiegenden Anteil ihrer Länge in einem Abstand (D1) von 30 µm bis 150 µm, insbesondere in einem Abstand von 40 µm bis 60 µm von der Oberfläche im Werkstück (1) erzeugt wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13,
dadurch gekennzeichnet,
dass in einem Bereich, in welchem mindestens zwei der Linien (2) erzeugt werden, die entlang der Trennlinien übereinander liegen, ein Tiefenabstand (D2) zwischen den Linien mindestens 200 µm beträgt und/oder dass in einem Bereich, in welchem mindestens zwei der Linien (2) erzeugt werden, die entlang der Trennlinien übereinander liegen, zunächst eine weiter entfernt von der Oberfläche liegende Linie und danach eine der Oberfläche nähere Linie erzeugt wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14,
dadurch gekennzeichnet,
dass bei dem zweiten Schritt ein zweiter Laserstrahl (60) zur Erzeugung einer Heizzone (HZ) auf das Werkstück gerichtet wird und nahe der Heizzone oder teilweise überlappend mit der Heizzone die Oberfläche zur Erzeugung einer Kühlzone (CZ) mit einem Kühlmedium beaufschlagt wird.

16. Verfahren nach der Anspruch 15,
dadurch gekennzeichnet,
dass ein Abstand (HC) zwischen einem Zentrum der Heizzone (HZ) und einem Zentrum der Kühlzone (CZ) entlang der Trennlinie in Abhängigkeit von mindestens einem Werkstückparameter und/oder von einer Trenngeschwindigkeit eingestellt wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16,
dadurch gekennzeichnet,
dass bei dem zweiten Schritt eine Fokussierung des zweiten Laserstrahls so eingestellt wird, dass eine Fokusposition mit Abstand (D3) zur Oberfläche im Inneren des Werkstücks liegt.

18. Verfahren nach Anspruch 17,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Abstand (D3) im Bereich von 50 µm bis 500 µm liegt, insbesondere im Bereich von 100 µm bis 400 µm.

19. Vorrichtung zur Trennung eines Werkstücks (1) in mehrere Teilstücke, die zumindest aufweist:
- eine erste Lasereinrichtung, mit der durch lokale Materialbearbeitung mit einem Laserstrahl (5) durch eine Oberfläche eines Werkstücks eine oder mehrere Linien (2) modifizierten Materials entlang einer oder mehrerer vorgegebener Trennlinien im Werkstück (1) erzeugbar sind, die zu einer Reduzierung der Bruchspannung des Werkstücks (1) entlang der Trennlinien führen,
- eine zweite Lasereinrichtung, die zum thermischen Laserstrahl-Separieren des Werkstücks entlang der Trennlinien ausgebildet ist, und
- eine Steuerung für die erste und die zweite Laserstrahleinrichtung zur Erzeugung der einen oder der mehreren Linien (2) im Werkstück (1) und zur anschließenden Durchführung des thermischen Laserstrahl-Separierens,
- wobei die erste Lasereinrichtung Mittel zur Veränderung einer Fokuslage des Laserstrahls (5) in der Tiefe des Werkstücks (1) aufweist, und die Steuerung die erste Lasereinrichtung durch Variation der Fokuslage zur Erzeugung der einen oder der mehreren Linien (2) mit einem variierenden Abstand von der Oberfläche im Werkstück (1) ansteuert.

20. Vorrichtung nach Anspruch 19,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine von der Steuerung ansteuerbare Kühleinrichtung vorgesehen ist, mit der die Oberfläche des Werkstücks beim thermischen Laserstrahl-Separieren entlang der Trennlinien lokal mit einem Kühlmedium beaufschlagt werden kann.

21. Vorrichtung nach Anspruch 19 oder 20,
dadurch gekennzeichnet,

dass die erste Lasereinrichtung einen gepulsten Laser und die zweite Lasereinrichtung einen cw-Laser umfasst.

22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 21,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Steuerung einen Betriebsmodus aufweist, in dem sie die erste Lasereinrichtung so zur Erzeugung der einen oder der mehreren Linien (2) ansteuert, dass die Linien (2) an einer der Steuerung vorgegebenen Randposition jedes Teilstückes (7) an der Oberfläche starten und sich dann mit einem variierenden Abstand zur Oberfläche entlang der Trennlinie im Werkstück (1) erstrecken.

23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 22,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Steuerung einen Betriebsmodus aufweist, in dem sie die erste Lasereinrichtung so zur Erzeugung der einen oder der mehreren Linien (2) ansteuert, dass die Linien (2) an einer der Steuerung vorgegebenen ersten Randposition jedes Teilstückes (7) an der Oberfläche starten, sich dann mit einem variierenden Abstand zur Oberfläche entlang der Trennlinie im Werkstück (1) erstrecken und an einem der ersten Randposition am Teilstück (7) gegenüberliegenden, der Steuerung vorgegebenen zweiten Randposition wieder an die Oberfläche treten.

24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 23 ,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Steuerung so ausgebildet ist, dass sie die erste Lasereinrichtung zur Erzeugung der einen oder der mehreren Linien (2) mit entlang der Linien (2) variierendem Energieeintrag des Laserstrahls (5) ansteuern kann.

25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 24,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Steuerung mit einer Sensoranordnung verbunden ist, die auf der Oberfläche des Werkstücks im Bereich der Trennlinien vorhandene Strukturen erkennt, und so ausgebildet ist, dass sie bei Detektion derartiger Strukturen auf den Trennlinien die Fokuslage des Laserstrahls (5) bei der Erzeugung der einen oder der mehreren Linien (2) so steuert, dass diese Strukturen mit dem Laserstrahl (5) entfernt werden.

26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 25,
dadurch gekennzeichnet,

dass eine Vorbehandlungseinrichtung (PRE) mit einer Lasereinrichtung (L0) vorgesehen ist, die dafür konfiguriert, vor dem ersten Schritt zur Erzeugung von Linien modifizierten Materials mindestens einen Vorbehandlungsschritt durchzuführen, durch den im Bereich einer oder mehrerer vorgegebener Trennlinien auf der Oberfläche des Werkstücks befindliches Material beseitigt werden kann und/oder durch den die Oberfläche zum Einkoppeln des Laserstrahls bei dem nachfolgenden ersten Schritt vorbereitet werden kann, insbesondere durch eine Glättung der Substratoberfläche mittels lokalen Umschmelzens.

- - - - - - - - - - - - - - -

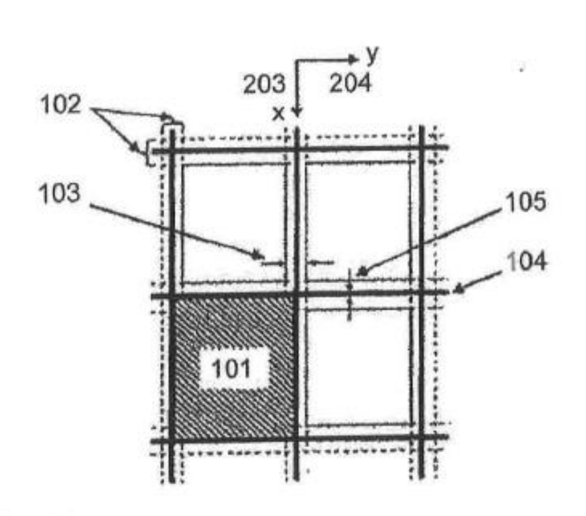


Fig. 1

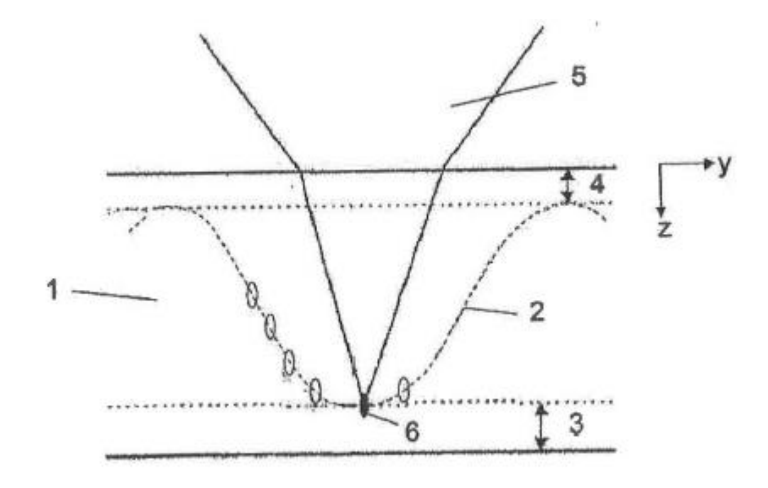


Fig. 2

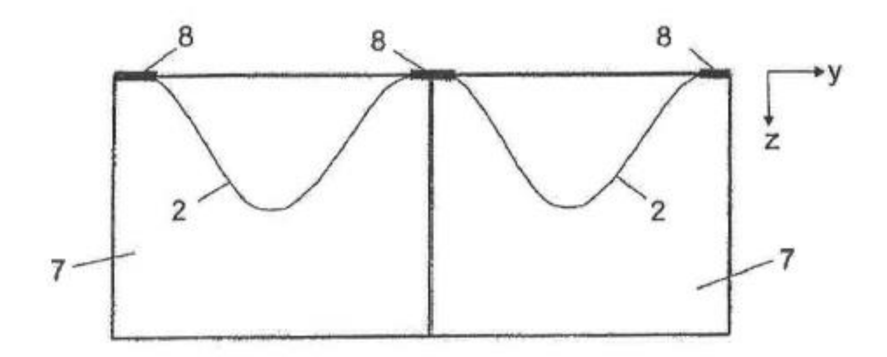


Fig. 3

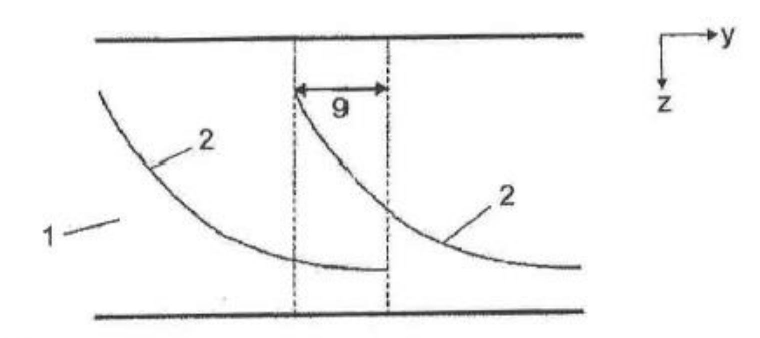


Fig. 4

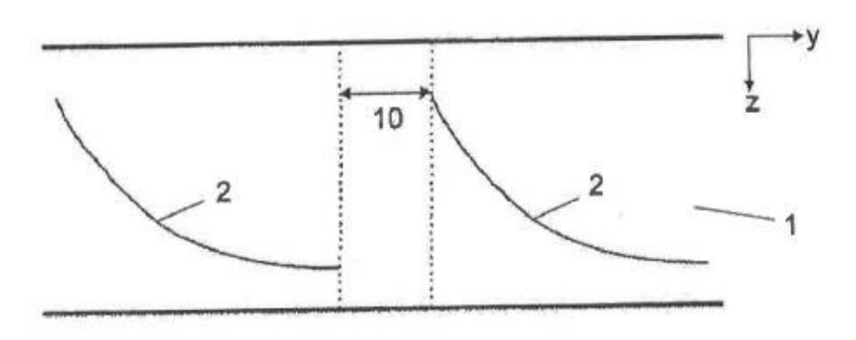
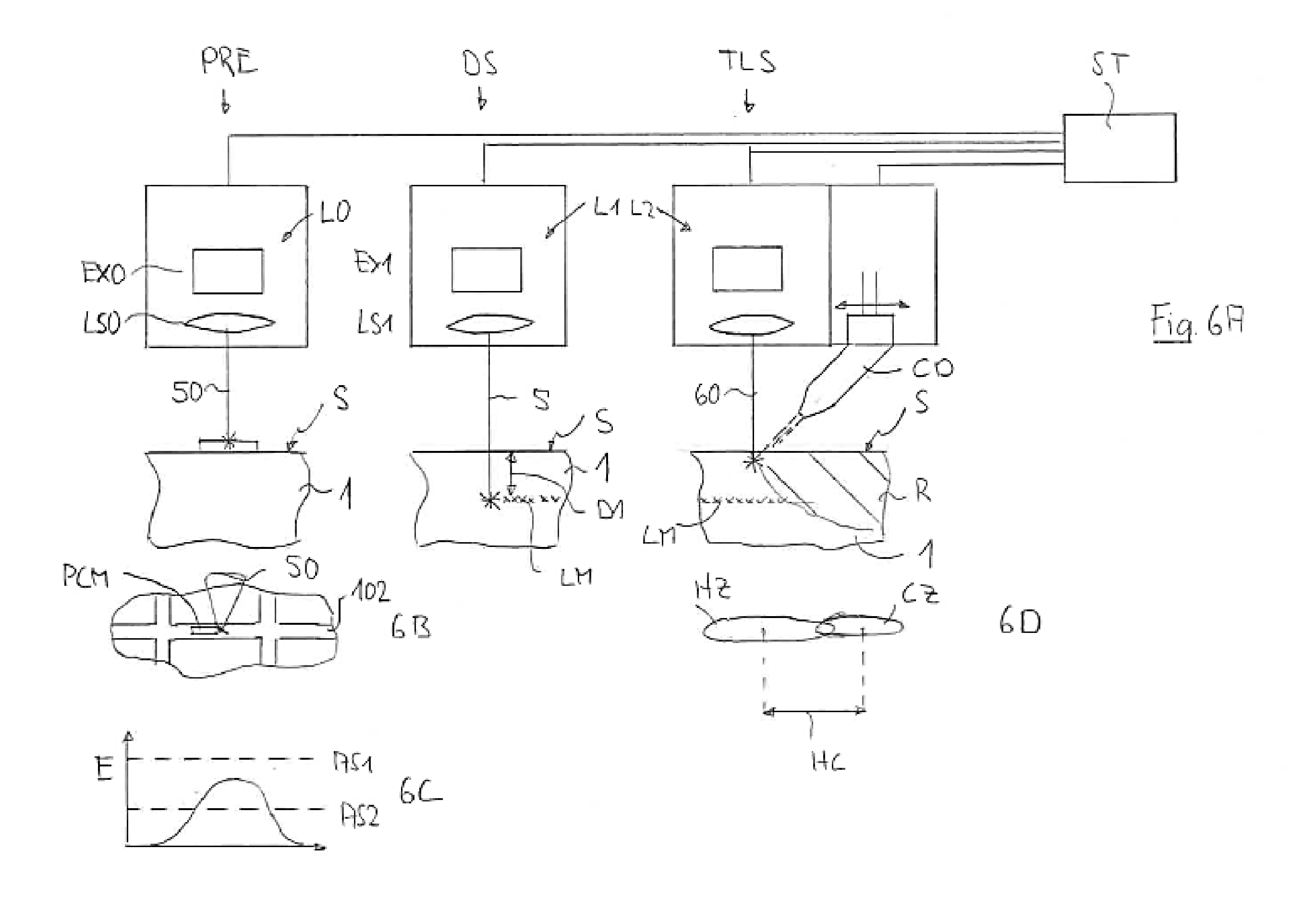


Fig. 5



PRE
DS
TLS
ST
L0
L1
L2
EX0
EX1
LS0
LS1
50
S
1
60
CO
R
D1
LM
PCM
102
6B
HZ
CZ
HC
6D
E
AS1
AS2
6C
Fig. 6A

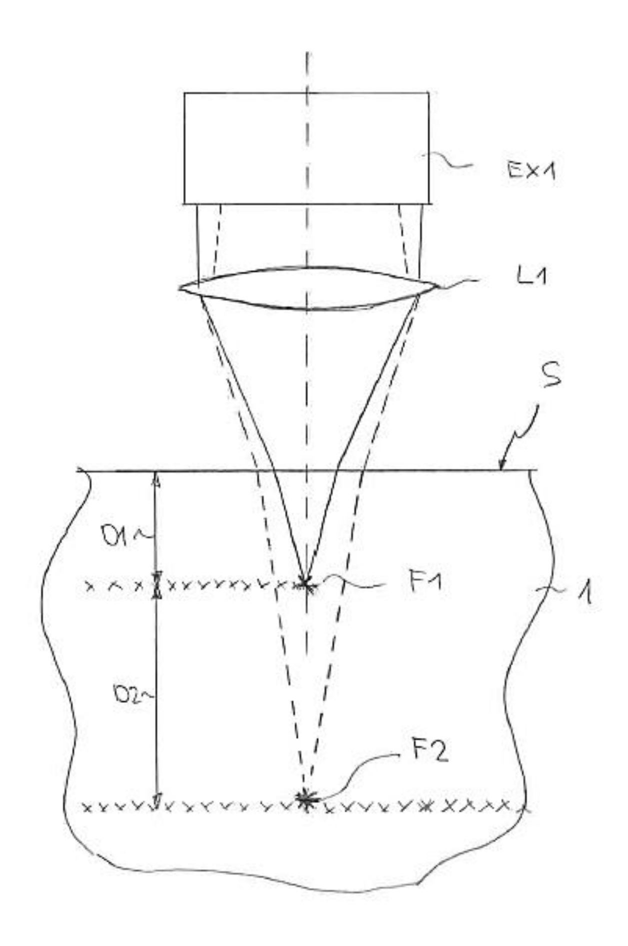
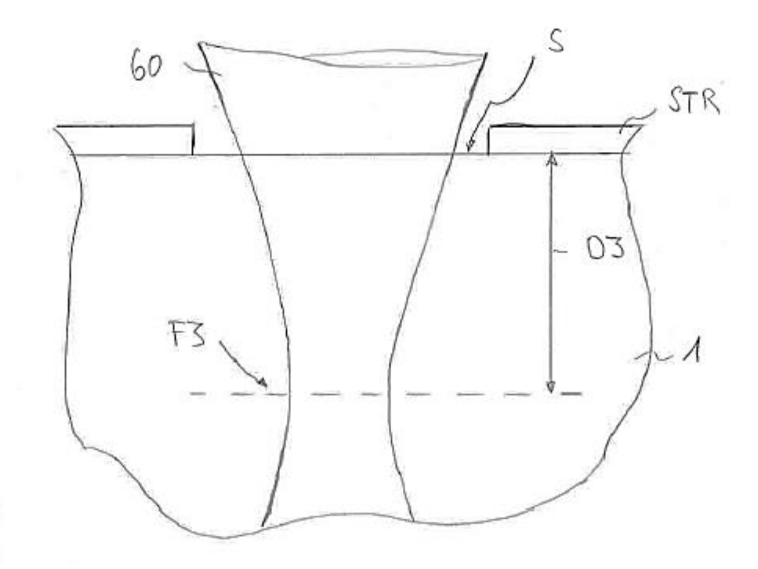
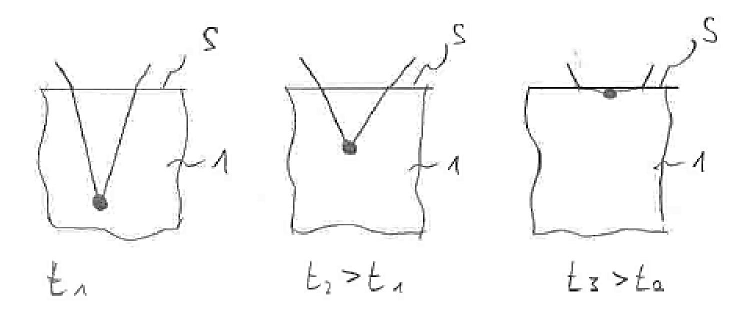


Fig. 7





Problembeschreibung

Bei all diesen Trennverfahren kann es vorkommen, dass Bauelemente nicht vollständig getrennt werden. Beispiele:

- Beim Trennen mittels innerer Materialmodifikation werden in einer oder mehreren Ebenen in der Tiefe des Materials entlang der Sägestraße Modifikationsschichten z.B. mittels geeignet fokussierten Lasers eingebracht. Je nach Ausführung sind anschließend die Bauelemente nicht vollständig getrennt, sondern lediglich die Bruchfestigkeit entlang der Sägestraße herabgesetzt. Hier ist ein weiterer Prozessschritt notwendig, um die Bauelemente vollständig voneinander zu trennen.
- Bei der Erzeugung von thermisch induzierten Spannungsrissen läuft der Riss eventuell nicht vollständig durch die Tiefe des Materials, bleibt vor dem Ende des Trennvorgangs stecken. oder läuft bei Schichtsystemen lediglich bis zu einer Grenzschicht. Das nichtgetrennte Material muss somit nachbearbeitet werden.
- Beim Trennen von Bauelemente mit Rückseitenmetallisierung kann es sein, dass das eigentliche Halbleitermaterial getrennt wird, die Metallisierung auf der Rückseite jedoch nicht. Bauelemente können deshalb noch durch Metallstege verbunden sein, so dass auch hier eine Nachbearbeitung erforderlich ist.

Lösung

In all diesen Fällen kann ein anschließender mechanischer Nachbearbeitungsschritt die Bauelemente vollständig voneinander trennen. Solche mechanischen Brechvorrichtungen gibt es in den unterschiedlichsten Ausführungen. Entscheidend ist dabei, dass eine mechanische Kraft so ausgeübt wird, dass die Bauelemente vollständig voneinander getrennt werden. Im Folgenden sind einige Ausführungsbeispiele aufgeführt:

- Mittels mechanischem Druck auf die Unterseite und/oder mechanischen Druck auf die Vorderseite des Substrats wird gezielt eine Biegespannung in die nicht getrennten Bereiche eingebracht. Auch mittels gezielter Modifikation der Atmosphäre (Druck und/oder Unterdruck) kann eine Biegespannung an definierten Stellen der Bauelemente eingebracht werden. Andere Varianten sind die Nutzung von zweidimensional angeordneten Nadeln, die gezielt bewegt werden, oder das Rollen des Substrats über einen Stab oder eine Kalotte.
- Das Trägermaterial (in der Halbleiterindustrie typischerweise Adhäsionsfolie) kann lokal und/oder ganzflächig expandiert werden. Auf den darauf befindlichen Bauelementen wird somit eine Zugspannung eingebracht, die die Trennung vervollständigt.
- Durch das Einbringen von Ultraschall-Wellen kann eine Kombination aus Zug- und Biegespannungen eingebracht, und so ungetrennte Bereiche nachbearbeitet werden.
- Es sind Vorrichtungen denkbar, bei denen eine Torsionsspannung auf die Bauteile ausgeübt wird.

Diese Ausführungsbeispiele können auch kombiniert zum Einsatz kommen. Eine häufige Kombination ist z.B. das Einbringen von Zugspannungen durch Expansion des Trägermaterials bei gleichzeitiger Einbringung von Biegespannungen. Auch ist es möglich, auf diesen hier beschriebenen Nachbearbeitungsschritt zu verzichten, indem die mechanische Kraft direkt während des eigentlichen Trennprozesses eingebracht wird und somit die zwei Prozessschritte – Durchführung der Trennung und die hier beschriebene Nachbearbeitung – in einem Prozessschritt kombiniert werden.

Im Folgenden sind Beispiele aufgelistet, wie solche Brechvorrichtungen aussehen können:

1. **Method and apparatus for breaking semiconductor wafers**
   Die gescribte Bahn des Wafers wird an die Pyramidenförmige "bending bar" gelegt, wobei durch die Kraft der "bending bar" der Wafer gebrochen wird [1] (Abbildung 1).

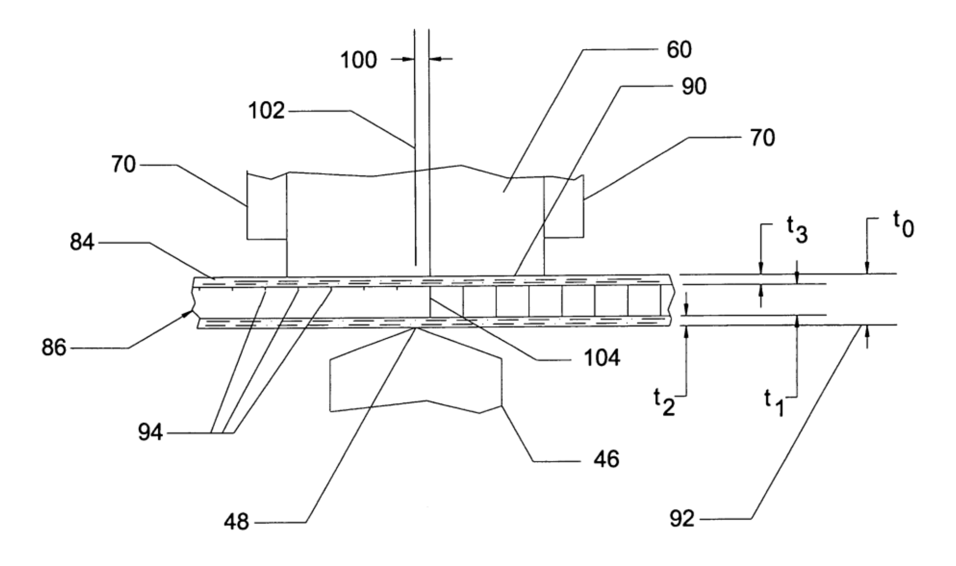


Abbildung 1: aus [1]

2. **Method and apparatus for breaking semiconductor wafers**
   Der Wafer, der zuvor entlang der zu brechenden Straßen gescribt wurde, wird zwischen zwei zylindrische Formen positioniert, wobei die eine Form größer als die andere ist. Durch ein definiertes Gewicht wird der Wafer deformiert, um einen kontrollierbaren Druck auf die Stelle des Wafers auszuüben, an der gebrochen werden soll [2] (Abbildung 2).

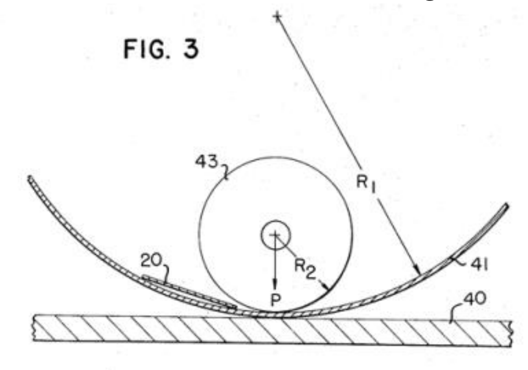


Abbildung 2: aus [2]

3. **System for breaking a semiconductor wafer or other workpiece along a scribe line**
   Bei diesem Brechverfahren werden zwei Vakuumchucks benutzt, wobei mindestens einer der beiden um eine Ursprungsgerade (pivot line) drehbar sein muss. Der Wafer wird so positioniert, dass die Sollbruchstelle über der Kante der beiden

Vakuumchucks liegt. Durch die relative Bewegung zwischen den beiden chucks, entsteht ein Druck wodurch der Wafer bricht [3] (Abbildung 3).

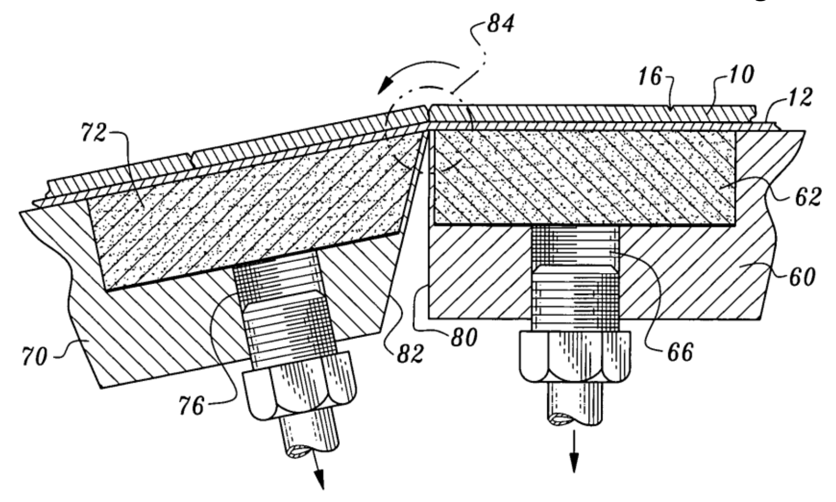


Abbildung 3: aus [3]

4. **Semiconductor wafer breaking apparatus**
   Der Wafer wird durch eine ringförmige Vorrichtung festgehalten und darauf von unten mit einem rotierbaren Brechmechanismus gebrochen [4] (Abbildung 4).

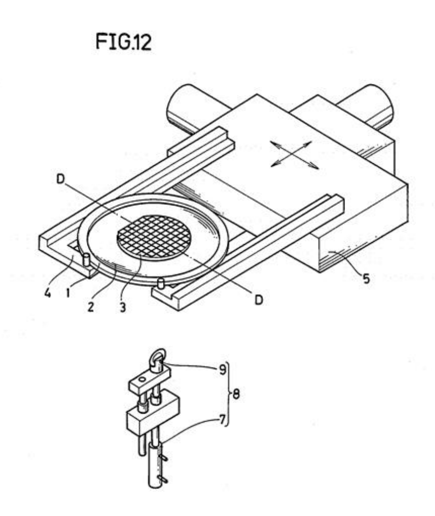


Abbildung 4: aus [4]

5. **Street smart wafer breaking mechanism**
   Dieses Gerät ermöglicht es Wafer zu brechen, indem Druck auf die Straße ausgeübt wird. Der Druck wird sowohl von oben als auch unten initiiert. Der Druck erhöht sich dabei so lange, bis der Wafer entlang der Straße bricht [5] (Abbildung 5).

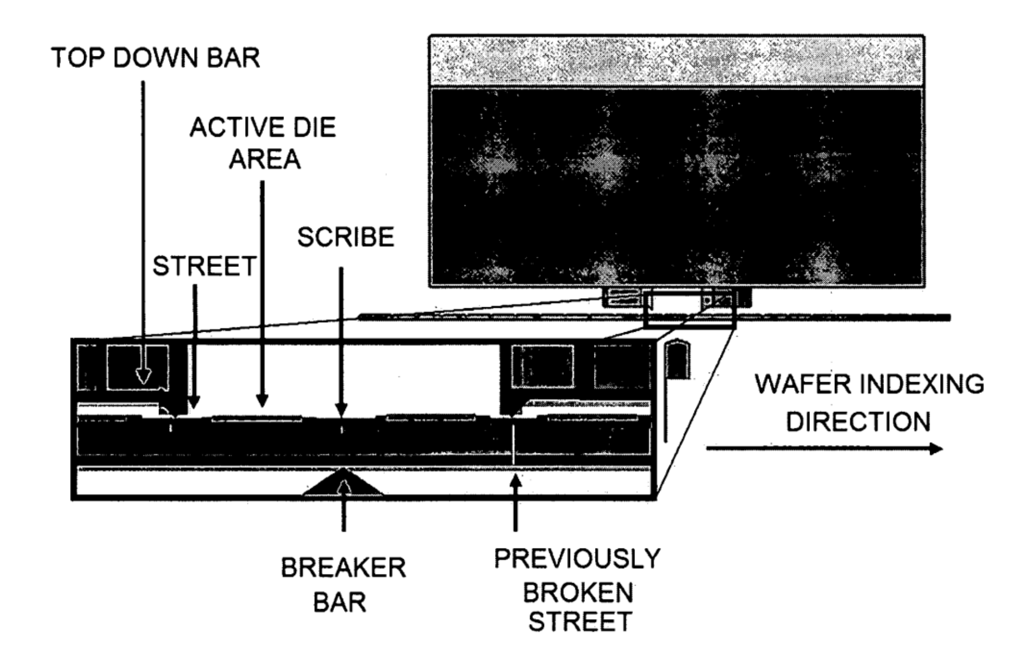


Abbildung 5: aus [5]

6. **Multiple ball element wafer breaking apparatus**
   Ein Apparat, der Halbleiterwafer entlang der gescribten Bahnen bricht. Dies geschieht durch eine Vielzahl von "Ballelementen", die an einer Stütze befestigt sind. Die Stütze kann nun senkrecht zum Wafer bewegt werden, um den Wafer entlang der vorbearbeiteten Bahnen zu brechen, indem durch die "Ballelemente" Spannung erzeugt wird [6] (Abbildung 6 und Abbildung 7).

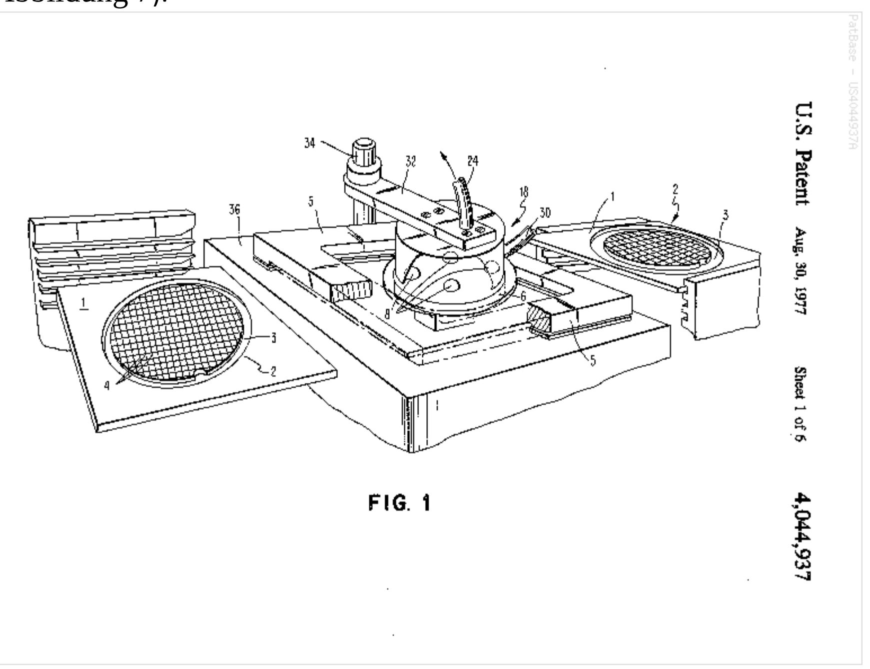


Abbildung 6: aus [6]

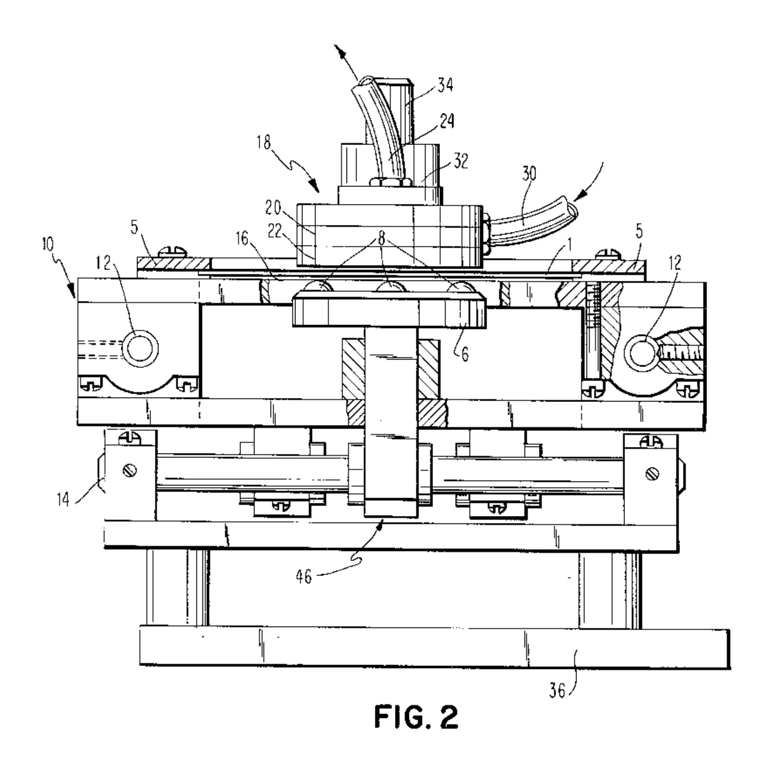


Abbildung 7: aus [6]

7. Device for isolating semiconductor elements

Das Gerät besteht aus einer Haltevorrichtung für den Wafer, auf die der Wafer mit einer Klebefolie befestigt wird. Bei diesem Bruchprozess kommt der Wafer mit keinem Material außer der Klebefolie in Berührung. Unter der Haltevorrichtung befindet sich eine Sprühdüse, durch welche der Wafer lokal mit Druck beaufschlagt wird, der ausreichend ist um den Wafer an dieser Stelle zu brechen. Der Wafer wird so ausgerichtet, dass eine Sägestraße parallel zur Bewegungsrichtung der Sprühdüse liegt. Nun bewegt sich die Sprühdüße entlang der Sägestraße und separiert die einzelnen Bauteile. Anschließend wird der Wafer um 90° Gedreht und der Vorgang wird fortgesetzt [7] (Abbildung 8).

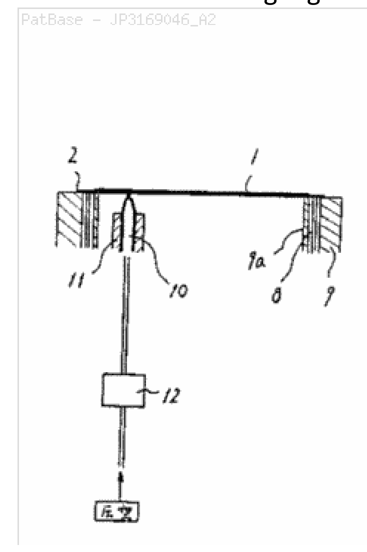


Abbildung 8: aus [7]

8. Method and apparatus for breaking and separating dies from a wafer

Der Apparat bricht einen Wafer in einzelne Teile. Dafür wird ein Werkzeug gegen eine flexible Folie gedrückt, auf der der Wafer befestigt ist. Der Wafer wird kopfüber positioniert,

so dass die Folie nach oben zeigt, und das Werkzeug nur die Folie berührt. Das Werkzeug besitzt ein Vakuum, damit die flexible Folie an das Werkzeug gezogen wird. Durch das Verformen der Folie, bricht der Wafer entlang seiner Sollbruchstellen in einzelne Teile [8] (Abbildung 9).

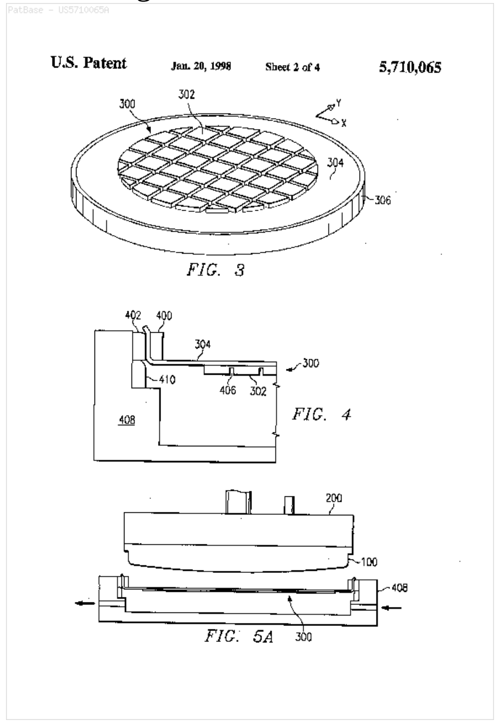


Abbildung 9: aus [8]

9. **Process and device for separating semiconductor chips attaches wafer to flexible carrier and bends it under pressure differential in a chamber**
   Für dieses Trennverfahren wird der Wafer zuerst geritzt und auf einem flexiblen Träger befestigt. Dieser Träger wird so befestigt, dass er die Druckkammer, in der er ist, in zwei abgedichtete Teile teilt. Der flexible Träger wird nun durch die Herstellung eines Unter- oder Überdrucks in einer der abgedichteten Teilkammern verformt. Dadurch verformt sich auch der Wafer, der durch die entstehende Spannung entlang der vorgeritzten Bahnen bricht [9] (Abbildung 10).

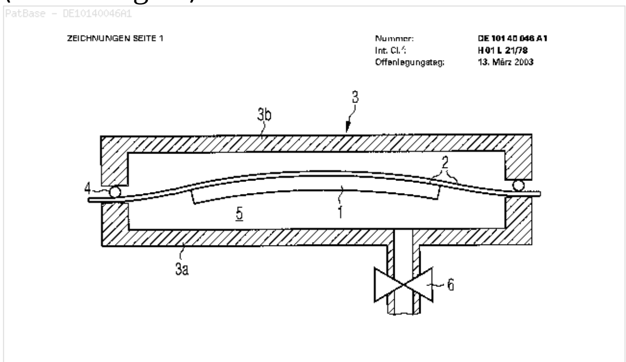


Abbildung 10: aus [9]

10. **Method for separation of semiconductor chips from semiconductor wafer using formation of separation lines by ion implantation and separation using ultrasonic bath**
    Hier wird ein vorbearbeiteter mit Hilfe von Ultraschall in einem Ultraschallbad zerteilt [10] (Abbildung 11).

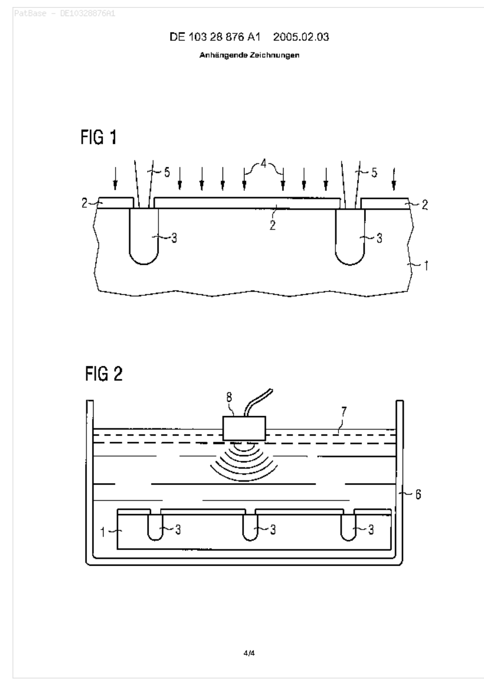


Abbildung 11: aus [10]

11. Scan breaking

Hier wird eine zu brechende Scheibe mittels einer Vakuumrille, welche entlang der Flexiblen Folie auf der Rückseite der Scheibe verfahren wird, gebrochen [11] (Abbildung 12).

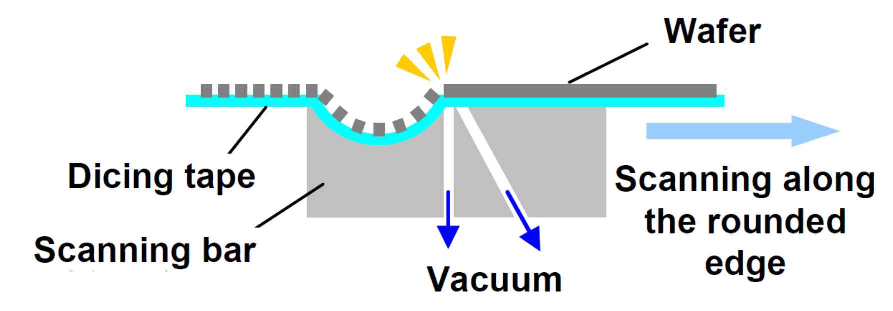


Abbildung 12: Scan breaking aus [11]

Zusammenfassung

Ein Überblick über verschiedene Trennprozesse in der Halbleiterindustrie, bei denen es zu einer nicht vollständigen Trennung kommen kann, wurde hier gegeben. Des Weiteren wurden mögliche mechanische Nachbearbeitungsschritte erläutert, die nach und/oder während der hier benannten aber auch alternativen Trennprozesse durchgeführt werden können, um eine vollständige Trennung zu gewährleisten. Die beschriebenen Lösungen können auch auf andere Nachbearbeitungsverfahren, andere Trennverfahren und/oder andere Industriezweige übertragen werden.

Quellennachweise

[1] US-Patent: US7262115 B2
[2] US-Patent: US3786973 A
[3] US-Patent: US8220685 B1
[4] U.S.Patent: US4775085 A
[5] U.S. Patent: US20080014720 A1
[6] U.S. Patent: US4044937 A

[7] Japan Patent: JP3169046 A2
[8] U.S. Patent: US5710065 A
[9] Deutsches Patent: DE10140046 A1
[10] Deutsches Patent: DE10328876 A1
[11] Disco Corporation; „Automatic Die Separator DDS2010”; technical note; http://www.discousa.com/eg/products/catalog/pdf/dds2010.pdf; Year: 2014